

*Журнал «Научное обозрение»
Биологические науки»
зарегистрирован Федеральной службой
по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство ПИ № ФС77-57454
ISSN 2500-3399*

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,366
Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,262

*Учредитель, издательство и редакция:
ООО НИЦ «Академия Естествознания»*

*Почтовый адрес: 105037, г. Москва, а/я 47
Адрес редакции и издателя: 410056, Саратовская
область, г. Саратов, ул. им. Чапаева В.И., д. 56*

**Founder, publisher and edition:
LLC SPC Academy of Natural History**

Post address: 105037, Moscow, p.o. box 47
**Editorial and publisher address: 410056,
Saratov region, Saratov, Chapaev V.I. street, 56**

*Подписано в печать 31.03.2022
Дата выхода номера 29.04.2022
Формат 60×90 1/8*

*Типография
ООО НИЦ «Академия Естествознания»,
410035, Саратовская область,
г. Саратов, ул. Мамонтовой, д. 5*

Signed in print 31.03.2022
Release date 29.04.2022
Format 60×90 8.1

**Typography
LLC SPC «Academy Of Natural History»
410035, Russia, Saratov region,
Saratov, 5 Mamontovoi str.**

*Технический редактор Доронкина Е.Н.
Корректор Галенкина Е.С., Дудкина Н.А.*

*Тираж 1000 экз.
Распространение по свободной цене
Заказ НО 2022/1
© ООО НИЦ «Академия Естествознания»*

Журнал «НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ» выходил с 1894 по 1903 год в издательстве П.П. Сойкина. Главным редактором журнала был Михаил Михайлович Филиппов. В журнале публиковались работы Ленина, Плеханова, Циолковского, Менделеева, Бехтерева, Лесгафта и др.

Journal «Scientific Review» published from 1894 to 1903. P.P. Soykin was the publisher. Mikhail Filippov was the Editor in Chief. The journal published works of Lenin, Plekhanov, Tsiolkovsky, Mendeleev, Bekhterev, Lesgaft etc.



М.М. Филиппов (M.M. Philippov)

С 2014 года издание журнала возобновлено
Академией Естествознания

**From 2014 edition of the journal resumed
by Academy of Natural History**

Главный редактор: Н.Ю. Стукова

Editor in Chief: N.Yu. Stukova

НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ • БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

SCIENTIFIC REVIEW • BIOLOGICAL SCIENCES

www.science-education.ru

2022 г.



***В журнале представлены научные обзоры,
статьи проблемного
и научно-практического характера***

***The issue contains scientific reviews,
problem and practical scientific articles***

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.б.н., проф. Абдуллаев Абдуманон (Душамбе), д.т.н., к.ф.-м.н., проф. Айдосов Аллаярбек (Алматы), д.м.н., проф. Аксенова В.А. (Москва), д.м.н., проф. Аллахвердиев А.Р. (Баку), д.б.н., проф. Аллахвердиев С.Р. (Москва), д.м.н., проф. Ананьев В.Н. (Москва), д.т.н., проф. Артюхова С.И. (Пушино), д.м.н., доцент Барышева Е.С. (Оренбург), д.б.н., к.с.-х.н., доцент Белоус О.Г. (Сочи), д.б.н., проф. Белых О.А. (Иркутск), д.м.н., проф. Бриль Г.Е. (Саратов), д.б.н., проф. Буданцев А.Ю. (Пушино), д.б.н., проф. Бударков В.А. (Вольгинский), д.б.н., проф. Ворсанова С.Г. (Москва), д.м.н. Гансбургский А.Н. (Ярославль), д.б.н. Гемеджиева Н.Г. (Алматы), д.м.н., проф. Герасимова Л.И. (Чебоксары), д.б.н., доцент Годин В.Н. (Москва), д.б.н., проф. Гречитаева М.В. (Белгород), д.с.-х.н., к.б.н., проф. Дементьев М.С. (Ставрополь), д.м.н., доцент Евстропов В.М. (Ростов-на-Дону), д.м.н. Извин А.И. (Тюмень), д.б.н. Кавцевич Н.Н. (Мурманск), д.б.н., проф. Калаев В.Н. (Воронеж), д.м.н., к.т.н., проф. Кику П.Ф. (Владивосток), д.б.н., доцент Князева О.А. (Уфа), д.м.н. Косарева П.В. (Пермь), д.б.н. Ларионов М.В. (Балашов), д.б.н. Лебедева С.Н. (Улан-Удэ), д.б.н., д.м.н. Медведев И.Н. (Москва), д.б.н. Мосягин В.В. (Курск), д.б.н. Околелова А.А. (Волгоград), д.с.-х.н., проф. Партоев Курбонали (Душамбе), д.б.н. Петраш В.В. (Санкт-Петербург), д.т.н. Похиленко В.Д. (Оболенск), д.м.н., проф. Пучиньян Д.М. (Саратов), д.б.н. Романова Е.Б. (Нижний Новгород), д.м.н. Самигуллиева А.Э. (Бишкек), д.б.н., проф. Сафонов М.А. (Оренбург), д.м.н., проф. Сентюрова Л.Г. (Астрахань), д.б.н. Симонович Е.И. (Ростов-на-Дону), д.б.н. Смирнов А.А. (Магадан), д.б.н., проф. Соловых Г.Н. (Оренбург), д.м.н., проф. Сомова Л.М. (Владивосток), д.б.н., проф. Тамбовцева Р.В. (Москва), д.б.н., доцент Хацаева Р.М. (Москва), д.м.н., доцент Хворостухина Н.Ф. (Саратов), д.б.н. Хованский И.Е. (Хабаровск), д.б.н. Шабдарбаева Г.С. (Алматы), д.б.н., проф. Шалпыков К.Т. (Бишкек), д.б.н., проф. Юров И.Ю. (Москва)

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ (03.01.00, 03.02.00, 03.03.00)

СТАТЬИ

ПЛЮСОВЫЕ ДЕРЕВЬЯ СОСНЫ И ГЕОАКТИВНЫЕ ЗОНЫ <i>Рогозин М.В.</i>	5
ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ НА ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОЧВ (НА ПРИМЕРЕ ПОЧВ ЧАТКАЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА) <i>Алибоева М.А., Жаббаров З.А., Фахрутдинова М.Ф.</i>	10
ИЗУЧЕНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ <i>MACHOZETUS LENMANNI</i> MENETRIES, 1848 – ЭНДЕМИКА СРЕДНЕЙ АЗИИ <i>Зокирова Д.Ф., Алимова Л.Х., Халимов Ф.З.</i>	16
БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СЕРО-БУРЫХ ПОЧВ И ЛУКА <i>Исомиддинов З.Ж., Исагалиев М.Т., Юлдашев Г.Ю.</i>	22
ИССЛЕДОВАНИЕ СУБХРОНИЧЕСКОЙ ТОКСИЧНОСТИ С ОЦЕНКОЙ МЕСТНОРАЗДРАЖАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ СУБСТАНЦИИ DMAE 7–16 <i>Соловьев Н.В., Щуровская К.В., Жунусов Н.С., Сазонова В.Е., Черняева С.С., Ефименко С.В.</i>	28
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ НЕЙРОФИЗИОЛОГИИ В ВОПРОСАХ ИЗУЧЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И НЕЙРОННЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ <i>Кириллова Г.А., Урунова Г.</i>	33
ВЫДЕЛЕНИЕ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ РИЗОБИЙ, ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДЛЯ СОЗДАНИЯ БИОУДОБРЕНИЯ ДЛЯ КУЛЬТУРЫ СОИ (<i>GLYCINE MAX</i> (L.) MERR.) <i>Смирнова И.Э., Баймаханова Г.Б., Файзулина Э.Р., Даугалиева С.Т., Татаркина Л.Г.</i>	38
ФЛОРИСТИЧЕСКИЙ СОСТАВ МЕДОНОСНЫХ РАСТЕНИЙ ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЫ И ПУТИ ИХ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ОХРАНЫ <i>Холикулов М.Р., Хамидов Г.Х.</i>	44
НЕСПЕЦИФИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА ЖЕНЩИН В ПОКОЕ И АКТИВНОМ БОДРСТВОВАНИИ В ДНИ С РАЗЛИЧНОЙ ГЕЛИОГЕОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКОЙ ЗЕМЛИ <i>Аллахвердиева А.А., Бабаев Э.С., Аллахвердиев А.Р.</i>	50
ОБЗОР	
АДАПТАЦИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА РАСТЕНИЙ К СОЛЕВОМУ СТРЕССУ <i>Рахматуллина Н.Ш., Насриддинова П.М., Акинишина Н.Г., Азизов А.А., Мирходжаев У.З.</i>	56
СТАТЬИ	
ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ОРГАНИЗМА ПРИ КОНТРОЛИРУЕМОМ УМЕРЕННОМ ДЫХАНИИ <i>Шушков С.В.</i>	62
ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛИСИТОРА, ЭФФЕКТИВНО ВЛИЯЮЩЕГО НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА <i>CYNARA SCOLYMUS</i> L. <i>Собирова М.Б., Муродова С.С.</i>	68
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОДУКТОВ ЛИПИДНОГО ОБМЕНА В СЫВОРОТКЕ КРОВИ У ЖИВОТНЫХ С КАТЕХОЛАМИНОВЫМ КАРДИОНЕКРОЗОМ ПРИ КРАТКОСРОЧНОЙ АДАПТАЦИИ НА ФОНЕ ПРИМЕНЕНИЯ МИЛДРОНАТА <i>Таалайбекова М.Т., Махмудова Ж.А.</i>	73

CONTENTS
BIOLOGICAL SCIENCES (03.01.00, 03.02.00, 03.03.00)
ARTICLES

PLUS TREES AND GEOACTIVE ZONES

Rogozin M.V. 5

 INFLUENCE OF NATURAL FACTORS ON CHEMICAL PROPERTIES
 OF MINING SOIL (ON THE EXAMPLE OF SOILS
 OF THE CHATKAL STATE BIOSPHERE RESERVE)

Aliboeva M.A., Jabbarov Z.A., Fakhrutdinova M.F. 10

 A STUDY OF MORPHOMETRIC FEATURES OF *MACHOZETUS LEHMANNI*
 MENETRIES, 1848 – ENDEMIC OF CENTRAL ASIA

Zokirova D.F., Alimova L.Kh., Khalimov F.Z. 16

BIOGEOCHEMICAL FEATURES OF GRAY-BROWN SOILS AND ONIONS

Isomiddinov Z.Zh., Isagaliev M.T., Yuldashev G.Yu. 22

 STUDY OF SUBCHRONIC TOXICITY WITH ESTIMATION
 OF LOCAL IRRITATING EFFECT OF SUBSTANCE DMAE 7-16

*Solovev N.V., Schurovskaya K.V., Zhunusov N.S.,
 Sazonova V.E., Chernyaeva S.S., Efimenko S.V.* 28

 MODERN METHODS OF NEUROPHYSIOLOGY IN THE STUDY
 OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND NEURAL INTERFACES

Kirillova G.A., Urunova G. 33

 ISOLATION AND IDENTIFICATION OF RHIZOBIA PROMISING
 FOR CREATING A BIOFERTILIZER FOR SOYBEAN

Smirnova I.E., Baymakhanova G.B., Fayzulina E.R., Daugalieva S.T., Tatarkina L.G. 38

 FLORISTIC COMPOSITION OF HONEY PLANTS OF THE FERGANA VALLEY
 AND WAYS OF THEIR RATIONAL USE AND PROTECTION

Kholikulov M.R., Khamidov G.Kh. 44

 NONSPECIFIC BRAIN SYSTEMS OF WOMEN AT REST
 AND ACTIVE WAKEFULNESS ON DAYS WITH DIFFERENT
 HELIOGEOMAGNETIC CONDITIONS OF THE EARTH

Allakhverdieva A.A., Babaev E.S., Allakhverdiev A.R. 50

REVIEW

ADAPTATION OF PLANTS PHOTOSYNTHETIC APPARATUS TO SALT STRESS

Rakhmatullina N.Sh., Nasriddinova P.M., Akinshina N.G., Azizov A.A., Mirkhodzhaev U.Z. 56

ARTICLES
 THE REGENERATIVE POTENTIAL OF THE ORGANISM
 WITH CONTROLLED MODERATE RESPIRATION

Shushkov S.V. 62

 ELICITOR ISOLATION TECHNOLOGY THAT EFFECTIVELY AFFECTS
 THE BIOLOGICAL PROPERTIES OF *CYNARA SCOLYMUS* L.

Sobirova M.B., Murodova S.S. 68

 COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF LIPID METABOLISM PRODUCTS
 IN BLOOD SERUM IN ANIMALS WITH CATECHOLAMINE
 CARDIONECROSIS IN SHORT-TERM ADAPTATION
 IN THE BACKGROUND OF MILDRONATE APPLICATION

Taalaybekova M.T., Makhmudova Zh.A. 73

СТАТЬИ

УДК 581.9:630*232.1:630*165:551.24:582.47

ПЛЮСОВЫЕ ДЕРЕВЬЯ СОСНЫ И ГЕОАКТИВНЫЕ ЗОНЫ**Рогозин М.В.***ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»,
Пермь, e-mail: rog-mikhail@yandex.ru*

Изучены культуры сосны в возрасте 55 лет 1Б класса бонитета полнотой 0,94. В массиве культур был выделен однородный участок размером 80×80 м, где провели сплошное картирование деревьев, план оцифровали в программе «ArcMap-ArcView» и вокруг деревьев выстроили полигоны их питания. Затем с помощью биолокационного метода на план нанесли малые геоактивные зоны (далее зоны) трёх типов с размерами 1, 3 и 8 м. Из числа 823 живых деревьев были выделены 66 плюсовых деревьев с превышением диаметра на 30% и более. Из них выбрали 24 шт. с площадями питания менее среднего. Из них 58% сформировались при подпитке энергиями зон указанных размеров, 25% выросли внутри пространства полос-цепей, образуемых зонами размером 1 м, а на свободных от полос-цепей и указанных зон растёт 17% плюсовых деревьев. Последние могут быть интересны для генетики как деревья, рост которых слабо зависел от конкурентного давления соседей и подпитки «тонкими» энергиями Земли, которые, по-видимому, следует искать в диапазоне излучений 70–200 КГц, а также 680–900 ТГц. Вероятно, именно такие частоты будут резонировать с биополями деревьев самых разных пород. Таким образом, при учёте влияния энергий Земли, действующих через геоактивные зоны, можно выделить уникальные плюсовые деревья (0,5–1,2% общего числа деревьев), которые выросли на малой площади питания без подпитки энергиями, которые помогают формироваться большинству крупных деревьев. Возможно, такие генотипы нужны для выживания вида в случае глобальных катаклизмов, например при смене полюсов Земли.

Ключевые слова: плюсовые деревья, площадь питания, геоактивные зоны**PLUS TREES AND GEOACTIVE ZONES****Rogozin M.V.***Perm State National Research University, Perm, e-mail: rog-mikhail@yandex.ru*

Pine cultures at the age of 55 years of 1B class with a completeness of 0.94 were studied. A homogeneous area of 80×80 m was allocated in the array of forest crops, where a continuous mapping of trees was carried out, the plan was digitized in the ArcMap-ArcView program and polygons of their nutrition were built around the trees. Then, using the biolocation method, small geoactive zones (hereinafter referred to as zones) of three types with sizes of 1, 3 and 8 m were applied to the plan. Of the 823 living trees, 66 plus trees with a diameter exceeding 30% or more were identified. Of these, 24 pc. selected with less than average food areas. Of these, 58% were formed when energized by the zones of the specified sizes, 25% grew inside the space of the chain bands formed by zones of 1 m in size, and 17% of plus trees grow on free from the chain bands and these zones. The latter may be of interest to genetics as trees whose growth was weakly dependent on the competitive pressure of neighbors and feeding with the “subtle” energies of the Earth, which, apparently, should be sought in the radiation range of 70–200 kHz, as well as 680–900 THz. It is likely that such frequencies will resonate with the biofields of trees of various breeds. Thus, taking into account the influence of the Earth’s energies acting through geoactive zones, it is possible to identify unique plus trees (0.5–1.2% of the total number of trees) that have grown on a small area of nutrition without feeding with energies that help form most large trees. Perhaps such genotypes are needed for the survival of the species in the event of global cataclysms, for example, when the poles of the Earth change.

Keywords: plus trees, food area, geoactive zones

В современных исследованиях лесоводы все более склоняются к тому, что размеры деревьев зависят в большей степени не от наследственности и внутривидовой конкуренции, а от экологической неоднородности биотопа [1–3]. Так в 184-летнем насаждении сосны обыкновенной 1 класса бонитета нами изучались 18 кандидатов в плюсовые деревья (далее кандидаты). Средняя площадь их питания была больше, чем у обычных деревьев (на 19,7%), однако отличие было недостоверно. Возраст определяли по кернам у 40 деревьев, и у кандидатов он колебался от 174 до 193 лет. Вероятно, выдающиеся размеры у молодых кандидатов были обусловлены либо генетически, либо тем, что имеются особо благоприятные места, где деревья поселились

позднее и не только догнали соседей, но перегнали их и достигли выдающихся размеров. Высказано предположение, что такие места могут быть связаны с влиянием малоизученных энергий Земли [3].

Изучение таких мест под названием «геобиологические активные зоны» началось в 1974 г. [2]. Согласно этим исследованиям прогалины в древостое приурочены к дискомфортным зонам, а скопления деревьев – к зонам, благоприятным для роста. В результате И.С. Марченко впервые поколебал теорию лесоводства, основанного на принципе равномерного размещения деревьев. В 1998 г. в учебнике «Нетрадиционное лесоводство» он предложил заменить его на принцип группового размещения деревьев [4].

Начиная с 2008 г. изучение таких зон началось в Пермском крае М.В. Рогозиным [3, 5]. Он выделил дискретные зоны с благоприятным влиянием на растения, с размерами 1, 3, 8, 16, 32 и 55. Определялся их размер и точное положение, а также выстраивались их сети, и они получили новое название – «малые геоактивные зоны» (далее МГА-зоны или просто зоны). Так, в упомянутом выше 184-летнем сосняке [3] «младшие» зоны размером 1 и 3 м встречались с частотой 220–250 шт/га; сосна занимала их на 90% и сохранялась в 39 раз лучше, повышая объём ствола на 46%. Далее, после анализа расположения МГА-зон вблизи крупных деревьев других пород, был сделан вывод, что крупные деревья являются их объективными фитоиндикаторами. Сети и сами зоны с размерами 1 и 3 м занимают 38% территории, и их можно использовать для выращивания леса как энергетический каркас, где деревья подпитываются глубинными энергиями Земли. В частности, холодной и затяжной весной эти зоны увеличили грунтовую всхожесть семян ели в 7 раз (!), и поэтому они могут быть использованы для выращивания посадочного материала в условиях меняющегося климата. По-видимому, лесные породы эволюционировали с использованием их энергий; во всяком случае, все изученные виды деревьев увеличивали на них свое долголетие, размеры, семеношение и даже меняли наследуемость с положительной на отрицательную [3, с. 17]. Зоны неоднородны и состоят из поясов ингибирования, депрессии и комфорта [3, с. 174].

Начиная с 2016 г. началось использование морфоструктурного анализа космоснимков, геокарт и другой информации с ранжированием плотности так называемых линеаментов, отражающих трещиноватость погребенного фундамента. В Пермском крае к 2012 г. их было выделено 49 тыс. [6]. По степени их плотности выделено более 100 геодинамических активных зон с чрезвычайно высокой активностью (6-й ранг плотности линеаментов), которые трассировали тектонические разломы; наряду с ними имеются и спокойные места (1–2-й ранг плотности линеаментов). Эти зоны проявляют себя через геохимические, магнитные и гравитационные аномалии, химический состав воды родников и т.д. Они начинаются с размера 0,7 км и достигают десятков километров. В целом территория края представляет собой сеть из пересекающихся разломов разного уровня [6].

Учёт плотности линеаментов впервые позволил обнаружить связь этого фактора с увеличением плеч миграции

МГА-зон [3, с. 9]. Затем, рассматривая их на фоне новых открытий в космогеологии [7], было установлено, что сети из МГА-зон с размерами 1 и 8 м в горах были ориентированы в одном направлении, а на равнине их ориентация была рассогласована на 30°. На ряде примеров было показано, что это вызывалось наличием разломов разного генезиса: линейных, кольцевых и спиральных, для нахождения которых используют специальный геоструктурометрический анализ [7, 8]. При таком анализе проводят математическую обработку космоснимков с определением параметров для каждого из миллионов пикселей в разных спектральных каналах на основе научного открытия российского учёного Ю.И. Фивенского [9].

Изучаемые нами МГА-зоны встречаются повсеместно и имеют постоянные размеры, в отличие от кольцевых структур Ю.И. Фивенского [10]; по-видимому, это отражает их одинаковую мощность и частотные характеристики. Влияние таких зон на почву и её биоту неизвестно. Физическая природа МГА-зон представляет собой настоящую загадку, и разгадать её можно только чувствительными приборами. В настоящее время высказывается ряд гипотез о природе энергий Земли, формирующих геологический ландшафт [11, 12], и мы наблюдаем их наиболее выразительно, как разрушительную силу. Но тогда должны быть и силы созидающие, т.е. те силы, которые сохраняют горы, и «молчание» горных вершин – самое интригующее. Для сильных энергий есть карты гравитационных полей, аномалий магнитного поля, сейсмоактивности и другие [6, 7, 10]. Однако действие слабых сил почти не изучено, и часть их можно отнести, по-видимому, к тонким энергиям.

О тонких энергиях применительно к Человеку в интернете масса публикаций. Но и наша Земля – «энергетически живой» мегаорганизм, и энергий у неё множество, поэтому отказать ей в наличии тонких энергий было бы несправедливо. Их измерение, однако, наталкивается на сильные помехи. Типичная помеха – сигнал геомагнитного поля Земли в датчиках магнитометра [11]. Однако вполне может быть, что даже самые совершенные магнитометры пока не смогут улавливать сигналы этих тонких энергий, частоты которых очень высокие.

Не углубляясь в их физические особенности, отметим, что растения «знают» и используют эти тонкие энергии. В точке, где растёт дерево, одновременно действует множество излучений, поэтому А.М. Гореловым с соавт. было предложено называть его «геогенным» и измерять суммарно био-

локацией [12, с. 98]. По-видимому, их следует искать в диапазоне излучений с колебаниями 70–200 КГц, а также в диапазоне 680–900 ТГц, которые будут резонировать с биополями таких деревьев как береза, дубы, калина, клены, липа, метасеквойя, ольха чёрная, осина, сосна обыкновенная, тополя, ясень [12, с. 70].

Новое направление исследований с изучением среды обитания растений эниологией [12] с поддержкой дистанционными методами зондирования Земли [7, 8, 10] позволит продвинуть наши знания о лесах на новый уровень, где геофитоценология и лесная биофизика [13] займут, наконец, своё достойное место.

Таковы краткие итоги исследований геоактивных зон на стыке геологии и лесоведения. Они позволяют здесь лучше понять результаты наших исследований о локализации плюсовых деревьев, которые будут связаны с пространственным размещением геоактивных зон.

Цель исследования – выяснить, в какой мере малые геоактивные зоны обуславливают формирование плюсовых деревьев в культурах сосны к возрасту 55 лет.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в 55-летних культурах сосны 1Б класса бонитета полнотой 0,94 на супесчаной почве в кв. 43 Нижне-Курьинского участкового лесничества Пермского городского лесничества. В них ограничили визирами однородный участок размером 80×80 м и пронумеровали все живые деревья и нанесли их на план с точностью ± 5–10 см. План оцифровали в программе «ArcMap-ArcView», после чего участок виртуально разделили на 9 пробных площадей, где вокруг деревьев выстроили полигоны их питания. Затем в полевых условиях с привязкой к центрам оснований стволов на план нанесли малые геоактивные зоны трёх типов с размерами 1, 3 и 8 м. Методика выстраивания полигонов питания и биолокационный метод нахождения центров геоактивных зон были описаны ранее [3].

Результаты исследования и их обсуждение

После перечислительной таксации и первичного анализа результатов [14] в культурах были выделены плюсовые деревья (66 шт.) с превышением диаметра на 30% и более. Часть из них имела раздвоение ствола, толстые сучья и другие недостатки, но нам был важен только их крупный размер как показатель виталитета.

Поэтому использование термина «плюсовые» здесь условное, и под ним понимается только наличие у дерева указанного превышения диаметра без других качеств, присущих плюсовым деревьям.

В предыдущей работе [14] различие между средней площадью питания у 66 плюсовых ($8,27 \pm 0,56 \text{ м}^2$) и у прочих деревьев ($6,11 \pm 0,11 \text{ м}^2$) было достоверно при $t = 3,8 > t_{0,01} = 2,6$. Из них 24 шт. (36%) сформировались на меньшей, и остальные – на большей площади питания, чем её среднее значение, равное $6,28 \text{ м}^2$ для всех 823 деревьев на этой территории. В данной работе мы рассмотрим только эти 24 плюсовых дерева с малой площадью питания. Для них можно утверждать, что они сформировались крупными либо благодаря их генетическим задаткам, либо на них повлияли какие-то иные факторы, улучшающие их рост. На участке они встречаются достаточно равномерно (рис. 1).

Далее рассмотрим влияние трёх типов геоактивных зон с размерами 1, 3 и 8 м, так как именно они были наиболее благоприятны для роста большинства лесных пород. Вставим слой карт с этими зонами на предыдущий слой карты с плюсовыми деревьями (рис. 2).

Анализ рисунка показывает, что 24 плюсовых дерева растут в следующих местах:

- 4 шт., или 17%, растут на свободных от зон и полос-цепей местах;
- 6 шт., или 25%, находятся внутри полос-цепей, образуемых зонами размером 1 м;
- 14 шт., или 58%, растут внутри или на внешнем радиусе зон размером 1, 3 и 8 м.

Получается, что среди растущих на малой площади питания плюсовых деревьев лишь 17% не имели подпитки энергиями Земли и формировались за счёт собственных усилий при отсутствии энергетической составляющей их среды обитания. Впрочем, нельзя исключить, что на них воздействовали ещё и другие, «старшие» зоны размером 16, 32 и 55 м, которые здесь пока не учитывались; их биолокацию мы проведём в следующем полевом сезоне. Эти старшие зоны были в целом нейтральны для сосны в возрасте 184 года, хотя на зонах размером 16 м она всё же сформировала 4,6% плюсовых деревьев [3, с. 124]. В связи с этим они будут весьма интересны для генетики как организмы, «сделавшие себя сами» без подпитки энергиями зон размером 1 и 3 м, на которых формируется большинство крупных деревьев самых разных пород. По отношению ко всем плюсовым деревьям (66 шт.) их частота здесь 6%, а к общему числу 823 живых деревьев их доля равна 0,5%.

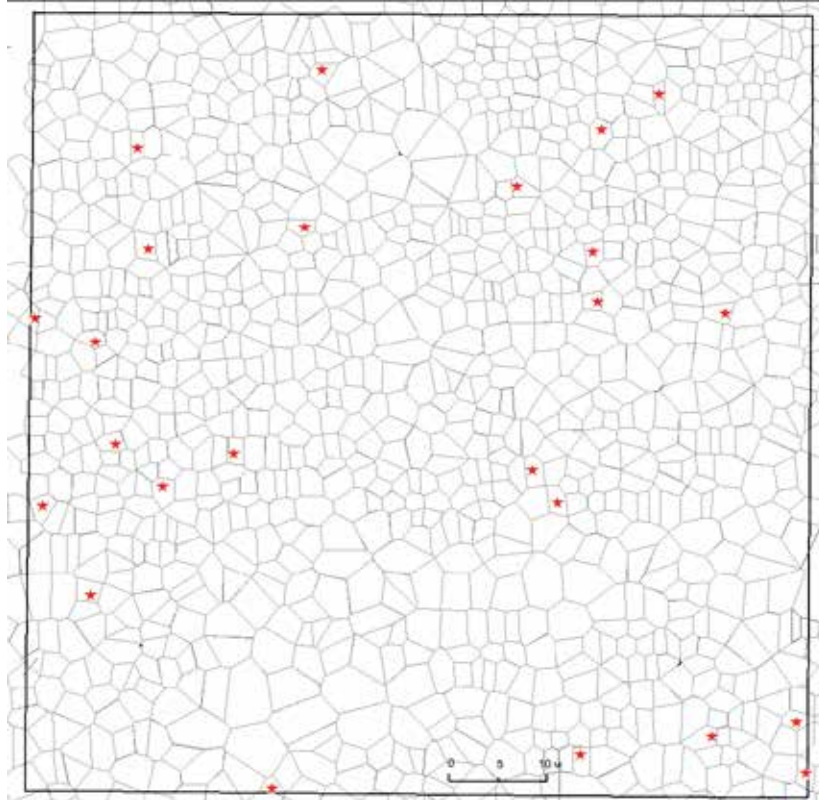


Рис. 1. Полигоны питания в культурах сосны на территории 80×80 м и 24 плюсовых дерева, имеющих малые площади питания

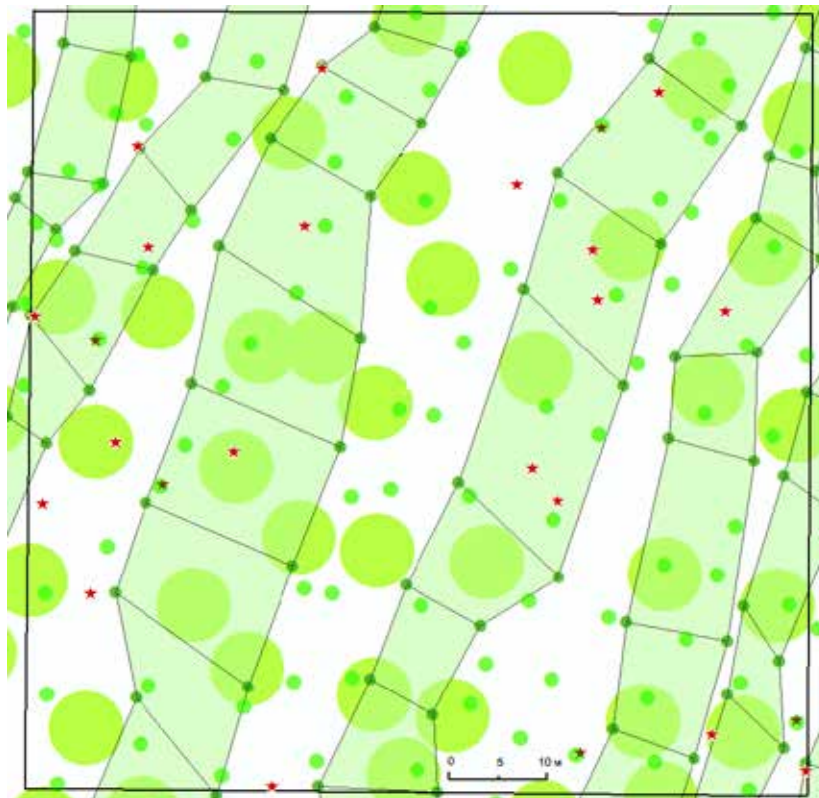


Рис. 2. Плюсовые деревья с малой площадью питания, благоприятные зоны и полосы-цепи на территории 80×80 м

Если же не учитывать цепи-полосы, энергия которых, как мы полагаем, менее интенсивна и значимо влияет на рост деревьев лишь в молодости [3, с. 105–113], то тогда без подпитки энергией МГА-зон остаётся 10 плюсовых деревьев. От общего числа деревьев это составит 1,2%. Они также представляют интерес для лесной селекции и генетики как деревья, которые используют менее интенсивные энергии Земли.

Обсуждая результаты, следует сравнить их с анализом роста деревьев в 184-летнем сосняке, где из 44 кандидатов в плюсовые деревья 89% сформировались на указанных выше трёх типах МГА-зон. Это позволяет сделать прогноз, что из наших 66 плюсовых деревьев через 100–120 лет останется только та часть, которая растёт на зонах указанных типов.

Таким образом, фактор местообитания плюсовых деревьев надо рассматривать намного шире, чем это принято, так как некоторые места биотопа связаны с мощным влиянием энергий Земли, выходящих через малые геоактивные зоны. Этот энергетический фактор, по-видимому, влияет и на почву, химические процессы в ней и активность микроорганизмов. Для его изучения необходимы новые технологии, которые позволят отделять абиотические факторы и точнее рассчитывать долю влияния генотипа. Тогда лесная биогеофизика по праву займёт своё достойное место среди лесных наук [13], а поселение деревьев на скалах и их успешный рост почти без почвы [15] получит, наконец, внятное объяснение.

Заключение

1. В культурах сосны в возрасте 55 лет на малых площадях питания 58% плюсовых деревьев сформировались при подпитке энергиями геоактивных зон размером 1 и 3 м.

2. Внутри образуемых зонами размером 1 м пространства полос-цепей, с выходом менее интенсивных энергий Земли, образовалось 25% плюсовых деревьев, имеющих малую площадь питания.

3. На свободных от полос-цепей и зон размером 1, 3 и 8 м местах растёт 17% плюсовых деревьев с малой площадью питания. Они могут быть интересны для генетики как деревья, рост которых не зависел от конкурентного давления соседей и подпитки энергиями Земли, наиболее благоприятными для большинства видов деревьев.

4. При учёте влияния энергий, действующих через геоактивные зоны размером от 1 до 8 м, можно выделить уникальные плюсовые деревья (0,5–1,2% от общего числа деревьев), которые выросли на ма-

лой площади питания без подпитки теми типами энергий, на которых формируется большинство крупных деревьев. Возможно, такие генотипы нужны для выживания вида в случае глобальных катаклизмов, например при смене полюсов Земли.

Автор благодарит за разрешение на исследование в Пермском городском лесничестве директора Галанову Антонину Александровну и лесничего Васильевых Геннадия Павловича.

Список литературы

1. Демаков Ю.П. Структура и закономерности развития лесов республики Марий Эл. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2018. 432 с.
2. Марченко И.С. Биополе лесных экосистем. Брянск: БГИТА, 1995. 188 с.
3. Рогозин М.В., Михалев В.В., Рыбальченко А.Я. Лесные экосистемы и факторы неотектоники: монография. Пермь: ПГНИУ, 2020. 249 с.
4. Марченко И.С., Марченко С.И. Нетрадиционное лесоводство. Брянск: БГИТА, 1998. 419 с.
5. Рогозин М.В., Михалев В.В. Структура сетей, образуемых малыми геоактивными зонами и геодинамическая активность территорий // Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Печеркинские чтения. Пермь: ПГНИУ, 2021. Вып. 5 (42). С. 188–198.
6. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. С. 616–624.
7. Михалев В.В., Рыбальченко А.Я. Флюидизатно-эксплозивные структуры заповедника «Вишерский» и их влияние на растительные сообщества // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь: ПГНИУ, 2021. Вып. 4 (41). С. 11–23.
8. Дурандин А.В. Структурно-тектонический анализ данных дистанционного зондирования Земли // Геоматика. 2011. № 1. С. 48–51.
9. Фивенский Ю.И. Малые кольцевые структуры рыхлах отложений земной коры / Научное открытие. Диплом ОТП РАН № 02-д/02 от 22.10.2002.
10. Фивенский Ю.И. Использование материалов аэрокосмических съёмок для изучения земной коры // Геодезия и картография. 2006. № 1. С. 44–52.
11. Гульельми А.В. Ультразвукочастотные электромагнитные волны в коре и в магнитосфере Земли // Успехи физических наук. 2007. Т. 177. № 12. С. 1257–1276.
12. Горелов А.М., Миколайко В.П., Красноштан И.В. Введение в эниодендрологию. Киев: ФЛП Ямчинский А.В., 2020. 138 с.
13. Тихонова И.В. Четыре опоры к фундаменту современного устойчивого лесоводства // Лесные экосистемы: современные вызовы, состояние, продуктивность и устойчивость. Материалы междунар. научно-практ. конф., посвященной 90-летию Института леса НАН Беларуси (Гомель, 13–15 ноября 2020 г.). Гомель: Ин-т леса НАН Беларуси, 2020. С. 97–101.
14. Рогозин М.В. Конкуренция, влияние площади питания и плюсовые деревья в культурах сосны Экобиотех 2021. Материалы VII Всероссийской конференции с международным участием, г. Уфа, 4–7 окт. 2021 г. Уфа: УИБ УФИЦ РАН, 2021. С. 202–206.
15. Рогозин М.В. Природные феномены, геоактивные зоны и их использование в ландшафтном дизайне // Бюллетень науки и практики. 2021. 7. № 12. С. 47–63. DOI: 10.33619/2414-2948/73/06.

**ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ
НА ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОЧВ
(НА ПРИМЕРЕ ПОЧВ ЧАТКАЛЬСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА)**

Алибоева М.А., Жаббаров З.А., Фахрутдинова М.Ф.

*Национальный университет Узбекистана им. Мирзо Улугбека, Ташкент,
e-mail: malika.alibaeva@gmail.com*

В данной статье приводятся сведения о непосредственном влиянии природных факторов (материнской породы, климата, рельефа, растительного и животного мира) и антропогенных на процесс почвообразования в горных районах, на его структуру и особенности. Влияние природных факторов на формирование и развитие горных почв заметно по сравнению с равнинными. Всегда будут изменения во времени и пространстве. Поэтому проведение исследований по каждому из природных факторов формирования горных почв, материнских пород, рельефа, человека, климата, растительного мира, гидрологии и др., его широкий анализ является одним из наиболее актуальных вопросов современности. Помимо этого, почвы, разбросанные по северным и южным склонам в горных районах, также сильно отличаются друг от друга, каждый склон будет напрямую зависеть от конкретного режима влажности, толщины мелкозёма, типа, степени плотности покрытия растительностью. Было высказано мнение, что почва действительно изменчива во времени и пространстве, и что влияние каждого почвообразующего фактора будет различным. Именно дифференциация одного почвенного типа на одной и той же высоте различных склонов, толщина, тип, плотность растительного покрова напрямую влияют на цвет и пористость данного среза, толщину, механического состава, образование структур. Поэтому рекомендуется использование горных территорий для животноводства строго плановое, только на равнинных участках с пологими склонами.

Ключевые слова: ресурс, генезис, эволюция, морфология, механический состав, морфолитогенез, гумус, агрегат, карбонат

**INFLUENCE OF NATURAL FACTORS
ON CHEMICAL PROPERTIES OF MINING SOIL
(ON THE EXAMPLE OF SOILS OF THE CHATKAL STATE BIOSPHERE RESERVE)**

Aliboeva M.A., Jabbarov Z.A., Fakhrutdinova M.F.

*National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Tashkent,
e-mail: malika.alibaeva@gmail.com*

This paper provides information on the direct influence of environmental factors (parent rock, climate, relief, flora and fauna, and anthropogenic factor) on the process of soil formation in mountainous regions, as well as its structure and properties. The influence of environmental factors on formation and development of mountain soils is noticeable in comparison with the soil formation in plain areas. There will always be changes in time and space. Therefore, studying each of the environmental factors of the formation of mountain soils, impact of human intervention, broadly discussing is one of the urgent issues. In addition, the soils scattered along the northern and southern slopes in mountainous regions also differ greatly from each other, each slope will directly depend on the specific moisture regime, thickness of humus horizons, type, and vegetation cover. It is the differentiation of one soil type at the same height of different slopes, the thickness, type, and density of the vegetation cover directly affect the formation of a particular soil profiles thickness, texture, and the formation of structures. Therefore, it is recommended to use mountain areas for animal husbandry strictly planned, only on flat areas with gentle slopes.

Keywords: resources, genesis, evolution, morphology, mechanic composition, morphogenesis, humus, texture, aggregate, carbonate

При разработке, изучении правовых основ охраны земельных ресурсов, их регулировании, управлении большое внимание уделяется улучшению состояния почв горной местности. Основной целью Закона «Об охраняемых природных территориях», разработанного Олий Мажлисом Республики Узбекистан, является создание природных территорий, нуждающихся в охране, обеспечение их максимально возможной охраной, правильное регулирование отношений с природой и обеспечение

в более широком смысле, которое заключается в ведении экологической пропаганды среди населения и общественности. Одним из таких регионов является Чаткальский государственный биосферный заповедник, расположенный в Ташкентской области. Нам известно, что горные почвы широко используются в народном хозяйстве Узбекистана. Во многих случаях территории, где распространены горные почвы, используются в качестве летних лагерей благодаря уникальному климату, прохладному

в летние месяцы, что позволяет рассматривать эту область как пример. В горных районах хозяйственная работа по строгому плану почти не ведется. Организация мониторинговых работ с целью широкомасштабного изучения природы территории, особенно генезиса, эволюции почвенного покрова, имеет огромное научное и практическое значение.

Влияние природных факторов на формирование и развитие горных почв заметно по сравнению с равнинными. Всегда будут изменения во времени и пространстве. Поэтому проведение исследований по каждому из природных факторов формирования горных почв, материнских пород, рельефа, человека, климата, растительного мира, гидрологии и др., их широкий анализ является одним из наиболее актуальных вопросов современности. Помимо этого, почвы, расположенные по северным и южным склонам в горных районах, также сильно отличаются друг от друга, каждый склон будет напрямую зависеть от конкретного режима влажности, толщины мелкозёма, типа, степени плотности покрытия растительностью.

В республике почвы горной местности составляют около 11% очень малых площадей, и роль, значение этой территории невероятно велики. Потому что основным источником воды для равнинного орошаемого земледелия является территория, контролирующая водный режим бесчисленных рек и ручьев, родников, где зелёный, разнообразный растительный мир имеет большое значение для сохранения чистоты окружающей среды.

Материалы и методы исследования

Область исследования находится на территории Чаткальского государственного биосферного заповедника. Исследования проводились на основе методов, общепринятых в почвоведении. Первоначально были определены морфологические свойства почв. В основном эти морфологические признаки почв, которые широко используются в сфере почвоведения по предложению В.В. Докучаева, именно в данной территории и проводились усовершенствования и исследования С.А. Захаровым. Это отражается также в исследованиях таких учёных-почвоведов, как Д.С. Таирбаева (1981), А. Назаров (1987), Г. Мирхайдарова (2002), Т.Ш. Шамсиддинов (2012) [1-3].

1. Сравнительно-географические маршруты экспедиции.
2. В стационарных полевых условиях (полевые стационарные).
3. Лабораторный аналитический метод.

Первым методом морфогенетических свойств почвы было дано подробное описание ее внешнего строения. Для проведения исследования было выбрано место из двух противоположных, различных, северных и южных склонов (уровень уклона измеряется эклиметром). Проведён подробный анализ обозначенной территории (какая высота, какой уклон, степень эрозии, растительный покров, тип растительности, рельеф, почвообразующие материнские породы), земляные вырезы были выкопаны для анализа почвы в соответствии с ее полной внешней структурой.

В разрезе выделялись и измерялись в сантиметрах генетические слои (горизонты), отличающиеся друг от друга морфологическими признаками (при разделении генетических слоев использовалась рулетка). Каждый изолированный генетический слой почвы был идентифицирован по названию и букве (А – аккумулятивная, В – переходная и С – материнская порода). Для анализа были взяты морфологические характеристики генетических слоев: генетический слой, толщина генетического слоя, цвет, механический состав, структура, новообразования (биологическое и химическое новообразование) почвы; были получены почвы для химического анализа в лаборатории из отложений, выделенных по степени закипания в хлоридной кислоте соединений, карбонатов и степени каменистости (скелетности). На полученных разрезах почвы (высушены в прохладном месте, измельчены немного крупные куски) проводились камеральные работы и были упакованы отдельно по пронумерованным пакетикам, указывая: какие разрезы, глубина разреза, в какую дату и кем были получены.

После того как полевые пробы были доставлены в лабораторию, почвы были измельчены отдельно для каждого химического и физического анализа и пропущены через сита разного диаметра. Для гигроскопичной влаги, гумуса и питательных элементов, содержащихся в почве, подготовлены пробы, которые были проведены через сита диаметром 0,25 мм. Определение содержания гумуса в почве по методу И.В. Тюрина было уточнено в той же процедуре, которая основана на окислении углерода, содержащегося в гумусе, хроматом ангидридом и титрованием избытка солью Мора (соль Мора). Для определения гумуса на образец почвы брали меньше, если она была темной, и больше – если она была светлой. Питательные элементы в содержании почвы (азот, фосфор и калий) были

определены методом Мещерякова в одной навеске. Азот, фосфор и калий были обнаружены путем сжигания образцов почвы сильно концентрированной сульфатной кислотой, фильтрации и фотометрии с помощью ФЭК и пламенного фотометра. Анализы, проводимые в лаборатории, проводились на тяге под шкафом с дымоходом (вытяжным шкафом).

Исследования проводились с горно-коричневыми почвами как типичными представителями горных почв.

Степень изученности. Известно, что горные почвы выделяются своим развитием, генезисом, эволюцией, химическим, физическим составом, биологическим, микробиологическим, механическим составом и многими другими текстурами и свойствами. По данным Е.А. Киселева, А.В. Погорелова (2018) [4], Н. Раупова, С. Абдуллаева (2018) [5], горные и предгорные почвы отличаются по сравнению с равнинными почвами особенно высоким содержанием гумуса, азота, толщиной гумусового слоя, повышенной степенью каменистости, большим содержанием карбонатов, относительной кратностью толщины почвенных разрезов, их склонность к вымыванию будет зависеть от того, на каких возвышенностях они распространены [4; 5].

В классификации почв Узбекистана, составленной А. Генусовым, Б. Горбуновым и Н. Кимбергом (1972) [6], среднегорные горные почвы классифицируются как горные лесные почвы с коричневым и буроватым оттенком. Они характеризуются наличием разнообразного почвенного покрова под влиянием природных факторов, формирующих эти почвы [6].

Ученые А. Назаров (1987), Г. Джалилова (2018), Л. Турсунов, А. Хоназаров, М. Фахрутдинова (2014), Д. Камилова (2009), Т. Шамшидинов (2012), А. Турабоев (2011), Г.С. Мирхайдарова (2016) и Д. Кадырова, Г. Джалилова (2016) провели много исследований по изучению структуры, свойств горных почв, но тем не менее все еще существуют проблемы, которые необходимо изучить [7-9].

Результаты исследования и их обсуждения

Горные почвы распределены по вертикальной зональности. В горных краях оказывают свое непосредственное влияние на рельефные условия местности: склоны гор, уклоны, расположение относительно Солнца, распространение облученных пород, толща мелкозёмистого слоя, растительный покров и др. Изучение почвенно-

го покрова в горных районах имеет свою сложность, и прослеживается изолированность происходящих в нем процессов. Г.Т. Джалилова (2018) [9], Д.А. Кадырова, Г. Джалилова (2016) [10] еще раз подтверждает полученную информацию [9; 10].

В горных районах влияние каждого из почвообразующих факторов будет различным, даже на глазок можно увидеть, например, влияние рельефа, расположенного на северном, западном, восточном и южном склоне, в пределах нескольких градусов. Дифференциация одного и того же типа почвы на одной и той же высоте различных склонов, толщина, тип, плотность растительного покрова напрямую влияют на цвет, толщину, механический состав, образование структур, пористость, что и является причиной, по которой одна почва отличается на той же высоте на разных склонах. И распределение элементов климата по склонам также можно видеть из приведенной ниже таблицы.

На разных склонах (северных и южных) на разной высоте образуются разные почвы. На каждом склоне тип растительности, растущей на высоте в регионе, количество выпадающих осадков непосредственно влияют на почву. Например, почвенный гумус – это очень сложное органическое соединение в составе почвы, являющееся чудесным веществом, непосредственно связанным с ее происхождением, образованием, длительными биохимическими и микробиологическими процессами. Почвенный гумус – это продукт, который по своей природе радикально отличается от материнской породы и химически сохраняет соединения, которые вообще не встречаются в материнской породе. В результате образования гумуса в почве изменяются ее свойства, ускоряются процессы, происходящие в ней, увеличивается количество водостойких агрегатов, и особенно сильно они влияют на процесс эрозии.

Известно, что эрозионные процессы негативно влияют на текстурные свойства почвы, в том числе приводят к уменьшению количества гумуса за счет вымывания. Эрозионные процессы чаще возникают на южных экспозиционных склонах с высоким уровнем каменистости, с низким содержанием гумуса. Растительный мир подвержен водной эрозии из-за слаборазвитости, а в некоторых местах и вовсе вымыт. Следовательно, эрозионные процессы в почвах южного склона протекают несколько интенсивнее, чем на северных склонах. Основная причина – низкая степень покрытия растительностью почвенного покрова на территории.

Содержание гумуса, NPK и карбонатов коричневых почв

Глубина, см	Гумус, %	Валовой			C:N	CO ₂ карбонатов, %
		Азот, %	Фосфор, %	Калий, %		
Горно-коричневые выщелоченные почвы, разрез 30						
0-10	6,60	0,373	0,183	2,85	12,01	0,641
10-38	4,70	0,226	0,191	2,35	14,11	1,022
38-59	2,61	0,210	0,204	2,10	8,43	1,071
59-85	1,01	0,151	0,182	2,10	4,54	3,070
85-127	0,59	0,080	0,107	2,21	5,00	5,062
Горно-коричневые типичные почвы, разрез 31						
0 – 7	4,38	0,310	0,21	2,72	9,59	3,45
7 – 19	2,82	0,121	0,19	2,35	10,21	3,77
19 – 37	1,17	0,044	0,08	2,67	7,25	11,82
37 – 56	0,46	0,039	0,08	2,54		11,81
Горно-коричневые карбонатные почвы, северный склон, разрез 10						
0 – 5	3,33	0,281	0,20	2,11	10,50	7,5
5 – 17	2,91	0,236	0,19	2,01	8,37	8,2
17 – 29	1,88	0,109	0,12	1,86	11,7	8,3
29 – 49	0,65	0,088	0,195	1,90	5,01	9,0
Горно-коричневые карбонатные почвы, южный склон, разрез 12						
0-3	2,16	0,20	0,21	1,98	7,33	8,1
3-27	1,05	0,15	0,18	2,04	4,75	7,9
27-45	0,61	0,069	0,16	2,01	5,99	9,3

В горных краях наблюдается подверженность эрозии под влиянием деятельности человека, осуществляемой без учета природных почвообразовательных условий, рельефа, в некоторых местах естественные биогеоценозы полностью исчезают, в результате поверхность почвы размывается, что приводит к изменению водного и воздушного режима и механического состава почвы.

Приведем результаты, полученные по нескольким разрезам с целью более полного разрыва под воздействием факторов. Эти почвы, делювиальные и пролювиальные, образуются на лёссовых и лёссовидных материнских породах, граниты и известняки распространены в этом районе. По этой причине также считается, что почвы богаты карбонатами. Научные исследования по распределению почв З. Антошиной и М. Панкова (1941) [11] считаются первыми. Позже О.Э. Хакбердиев, Т.Ш Шамсидинов (2020) [3] также провели исследования и сделали некоторые собственные выводы, в частности, что почвы, вымытые под воздействием рельефа в результате вы-

мывания, называются накопленными почвами [3; 11].

Коричневые горные выщелоченные почвы вымываются из карбонатов из-за повышенного содержания влаги (таблица), поэтому в верхней части разреза от карбонатов отмывают от 0,641 до 5,06% его содержания, в нижних слоях наблюдается его повышенное количество. В горно-коричневых карбонатных почвах содержание карбонатов в верхней части разреза больше, чем в 10 разрезах, так как в северной стороне больше влаги, 7,5%, та же почва в разрезе, расположенном на южном склоне, составляет 8,1%, а содержание карбонатов увеличивается по мере того, как оба разреза опускаются ниже. Причина в том, что карбонаты вымываются под воздействием влаги сверху вниз, что, с другой стороны, указывает на богатство материнской породы карбонатами. Свойства и характеристики каждого типа почвы варьируются в зависимости от того, на какой материнской породе сформированы. Из-за того что продукты выветривания остаются на своем месте из-за большого количества влаги (осадков),

а рельеф более ровный, глубина разреза большая, составляет 127 см. В 30 разрезах глубина выемки типичных и карбонатных почв, сформированных на делювиальных и пролювиальных материнских породах, составляет 56 см в коротких горных бурых типичных почвах, а в горных бурых карбонатных почвах краткость по сравнению с указанным выше разрезом составляет 49 см с северной стороны, и 45 см с южной стороны. Толщина дернового и поддернового горизонта горных коричневых выщелоченных и горных коричневых типичных почв обычно непосредственно связана с относительностью горных склонов и состоянием, типами, а также формациями растительного покрова. Как видно из таблицы, щелочные и типичные горные коричневые почвы богаты гумусом на 6,60-4,38% под влиянием влажности, обилия и мощности растительного покрова, тогда как в горных карбонатных почвах уклон крутой, из-за недостаточности влаги, редкости и недостаточности растительного покрова 3,33-2,16% и постепенно уменьшается согласно закономерности (Pulatov B., Umarova Sh. and Alikhanov B. [12]).

Толщину таких слоев в почве, а также наличие в ней растительности, почвы и останков животных определяет количество гумуса в почве, а также их гумусового состояния. Это связано с тем, что содержание гумуса в этих слоях увеличивается в основном за счет общего накопления растительных остатков.

За счёт относительного обилия растительного покрова в горных коричневых карбонатных почвах, расположенных на северном склоне, содержание гумуса колеблется от 3,33% (в верхних слоях) до 2,16% на южных склонах. Что составляет 0-90 см, 0-45 см в сечении 12, а его краткость к северу, которая также отличается от других элементов в таблице.

В зависимости от содержания гумуса в почве азот также уменьшается сверху вниз по закономерности. Содержание общего калия в почве составляет 1,55-2,11% и более, что, в свою очередь, характеризуется богатством калия, что непосредственно связано с химическим составом материнской породы. Характерной чертой горных почв является высокое содержание CO_2 – карбонатов в генетических слоях. Горные коричневые карбонатные почвы в основном сильно карбонатные на южном склоне по сравнению с северными склонами. Можно сделать вывод, что основная причина – результат распределения климатических элементов. Аналогичные данные были получены от Н. Раупова и С. Абдуллаева [5].

Горы обладают уникальными почвенно-климатическими условиями и разнообразной растительностью. Горные районы использовались людьми как сенокосы и пастбища. Однако внедрение этой отрасли сельского хозяйства имеет ряд негативных последствий, в частности способствует эрозии поверхности почвы и создает основу для ускорения этого процесса.

Заключение

Отсюда можно сделать вывод, что почвообразующие факторы оказывают существенное влияние на развитие горных почв. Еще раз доказано, что свойства и характеристики почв непосредственно связаны с типом, химическим составом и свойствами материнских пород, из которых они состоят. Изученные почвообразующие делювиальные, пролювиальные, лессы и лессовидные развивались на материнских породах.

Склон рельефа играет важную роль в развитии горных почв. Распределение влаги, количество солнечного света, растительный покров, плотность, каменистость, особенно на экспозициях склонов рельефа, имеют прямое влияние на толщину почвенного профиля. В результате получают типы почв, различающиеся по составу и свойствам.

Уменьшение растительного покрова или его полное исчезновение, в свою очередь, приводит к полному разрушению почвенного покрова, в результате чего на горных склонах появляются коренные породы, что приводит к исчезновению редких видов лекарственных растений. Поэтому рекомендуется использование горных территорий для животноводства строго плановое, только на равнинных участках с пологими склонами.

Список литературы

1. Назаров А.С. Почвы западных отрогов Чаткальского хребта (на примере почв Чаткальского горно-лесного государственного заповедника): автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Ташкент, 1987. 21 с.
2. Мирхайдарова Г.С. Влияние эрозии на плодородные почвы и пути восстановления этих свойств // Аграрная наука сельскому хозяйству IX Международная научно-практическая конференция. Барнаул, 2016. С. 404-407.
3. Хакбердиев О.Э., Шамсидинов Т.Ш. Деградация почв и влияние эрозии на агрохимические свойства почв // International Independent Scientific Journal. 2020. № 13. С. 27-29.
4. Киселева Е.А., Погорелов А.В. К оценке эрозийной опасности почв (по данным Крымского района Краснодарского края // Natural Sciences. Geography. 2017. № 2 (18). С. 78-90.
5. Раупова Н., Абдуллаев С. Горно коричневые карбонатные почвы Западного Тянь-Шаня их агрохимические свойства и гумусное состояние // Бюллетень науки и практики. Bulletin of Science and Practice (scientific journal). 2018. С. 153-160.

6. Генусов А.З., Горбунов Б.В., Кимберг Н.В. Классификация и диагностика почв Узбекистана // Труды НИИП. 1972. Т. 8. С. 4-49.
7. Фахрутдинова М.Ф. Фракционный и групповой состав горно-коричневые выщелоченные почвы // Вестник НуУЗ. 2014. № 3/2. С. 79-82.
8. Турсунов Л., Ханазаров А., Фахрутдинова М., Камилова Д. Горные почвы Узбекистана. Ташкент: «Турон-Икбол», 2009. 232 с.
9. Джалилова Г.Т. Геоинформационный анализ эрозийных процессов в среднегорьях и низкогорьях Узбекистана (на примере почв Чаткальского и Туркестанского хребтов): автореф. дис. ... докт. биол. наук. Ташкент, 2018. 53 с.
10. Кадырова Д.А., Джалилова Г.Т. Изменение физических свойств горных почв под влиянием эрозийных процессов // Аграрная наука сельскому хозяйству: IX Международная научно-практическая конференция. Барнаул, 2016. С. 354-357.
11. Антошина Э.П., Панков М.А. Опыт почвенно-эрозийных исследований в Западной части Чаткальского хребта // Труды Узб. филиала АН СССР. 1941. Серия IX. Вып. 2. С. 32-56.
12. Pulatov B., Umarova Sh. and Alikhanov B. Assessment of land degradation changes in mountain areas in Tashkent province. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. P. 883. DOI: 10.1088/1757-899X/883/1/012087.
13. Турабаев А. Описание некоторых природных факторов, сохраняющих разнообразие горных коричневых почв (на примере Чаткальских и Нурагинских гор): автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ташкент, 2011. 27 с.

УДК 595.762.12

ИЗУЧЕНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ *MACHOZETUS LEHMANNI* MENETRIES, 1848 – ЭНДЕМИКА СРЕДНЕЙ АЗИИ

¹Зокирова Д.Ф., ²Алимова Л.Х., ¹Халимов Ф.З.

¹Самаркандский государственный университет, Самарканд,
e-mail: zokirova_dilnoza2257@bk.ru, xalimov1968@list.ru;

²Бухарский государственный университет, Бухара, e-mail: liz.a@mail.ru

Machozetus lehmanni отмечается как эндемический вид Средней Азии, но морфобиологические и экологические его особенности изучены очень слабо. В статье приводятся данные о распространении видов рода *Machozetus* и морфологическое описание *Machozetus lehmanni*. Изучены и статистически анализированы морфометрические показатели. Длина тела *Machozetus lehmanni* – 29,6–42,8 мм, а другого вида, *Machozetus concinnus*, – 20,2–25,5 мм. Наиболее переменным из морфометрических показателей является длина головы, а наименее переменным – ширина надкрылий. Анализирована корреляционная взаимосвязь между морфометрическими показателями разных частей тела. Наименьшая коррелятивная зависимость выявлена между длиной головы (ДГ) и длиной переднеспинки (ДП) ($r = 0,31$). Высокая корреляционная зависимость выявлена между шириной переднеспинки (ШП) и шириной надкрылий (ШЭ), между длиной надкрылий и общей длиной тела ($r = 0,9$). Выявлено различие в размерах отдельных частей тела на исследованных точках ареала. Более крупными оказались жуки из участка Чурукчул, длина тела которых составляла 42,8 мм ($\pm 2,31$), а у жуков из участка Алан – 39,1 мм ($\pm 2,3$). Разница в размере тела на разных участках ареала обеспечивается в основном более крупными размерами головы, причины которого требуют более детального изучения.

Ключевые слова: *Machozetus lehmanni*, *Machozetus concinnus*, морфометрические показатели, коэффициент вариации, корреляция

A STUDY OF MORPHOMETRIC FEATURES OF *MACHOZETUS LEHMANNI* MENETRIES, 1848 – ENDEMIC OF CENTRAL ASIA

¹Zokirova D.F., ²Alimova L.Kh., ¹Khalimov F.Z.

¹Samarkand State University, Samarkand, e-mail: zokirova_dilnoza2257@bk.ru, xalimov1968@list.ru;

²Bukhara State University, Bukhara, e-mail: liz.a@mail.ru

Machozetus lehmanni is noted as an endemic species of Central Asia, but its morphobiological and ecological features have been studied very poorly. The article provides data on the distribution of species of the genus *Machozetus* and a morphological description of *Machozetus lehmanni*. Studied and statistically analyzed morphometric parameters. The body length of *Machozetus lehmanni* is 29.6–42.8 mm, while another species, *Machozetus concinnus*, is 20.2–25.5 mm. The most variable of the morphometric parameters is the length of the head, and the width of the elytra was the least variable. The correlation relationship between the morphometric parameters of different parts of the body was analyzed. The smallest correlation was found between the length of the head (DH) and the length of the pronotum (PR) ($r = 0.31$). A high correlation dependence was found between the width of the pronotum (SP) and the width of the elytra (SE), between the length of the elytra and the total body length ($r = 0.9$). A difference in the sizes of individual body parts at the studied points of the range was revealed. The beetles from the Churukchul site turned out to be larger, the body length of which was 42.8 mm (± 2.31), while in the beetles from the Alan site it was 39.1 mm (± 2.3). The difference in body size in different parts of the range is mainly due to larger head sizes, the reasons for which require more detailed study.

Keywords: *Machozetus lehmanni*, *Machozetus concinnus*, morphometric parameters, coefficient of variation, correlation

Энтомофауна Узбекистана очень разнообразна и включает много эндемичных для Центральной Азии видов. Одними из таких видов являются представители рода *Machozetus* Chaudoir, 1850 из семейства жужелиц (Carabidae). Этот род жужелиц является эндемическим родом Центральной Азии и включает всего два вида: *Machozetus lehmanni* Menetries, 1848 и *Machozetus concinnus* C.A. Dohrn, 1885. Они отмечены в пустынных и предгорных районах Узбекистана, Туркменистана, Таджикистана и Северного Афганистана [1]. В последние годы на основе музейных материалов было до-

казано распространение этих видов в Иране [2]. Виды рода *Machozetus* являются специализированными фитофагами, питающимися семенами растений, в основном ферулы [3]. *Machozetus lehmanni*, как своеобразный монофаг зонтичных растений, отмечен в Заповеднике Репитак (Туркменистан) на песчаных барханах [4].

Жизнь и развитие *Machozetus lehmanni* проходит в специальной норе в почве. Самки роют норы в вертикальном направлении на глубине до 4 м, где откладывают по одному яйцу и запасают семена ферулы для кормления личинок [3]. Личинки раз-

виваются в почве и впервые были описаны И.Х. Шаровой и К.В. Макаровым. Личинки 3 возраста до 34 мм, тело покрыто светлыми и мелкими волосками, глаза неразвиты. Эти особенности свидетельствует об их малоподвижном и скрытом образе жизни [5]. А.Ш. Хамраевым (2013) в Харезмской области и Республике Каракалпакистан *Machozetus lehmanni* и *Machozetus concinnus* отмечаются как представители подсемейства Nebrinae [6].

Хотя в вышеперечисленных исследованиях имеются сведения о распространении видов рода *Machozetus*, их морфологические и биологические особенности остаются особо не изученными. У насекомых морфологические особенности, обеспечивающие способность к расселению, эффективность поиска пищи и питания, определяют их взаимодействие с окружающей средой [7, 8]. В последние годы широкое распространение получил подход оценки структуры популяций насекомых по морфометрическим признакам [9, 10]. На примере агроценозов и урбанизированных ландшафтов выявлены значительные вариации морфометрических показателей у жуужелиц. Например, *S. granulatus* уменьшается в размерах при обитании в пригороде, а *S. cancellatus* – в городе [11]. И даже фенотипическая пластичность самок и самцов на действие какого-либо фактора среды у жуужелиц одного и того же вида может быть различной [12].

Хотя некоторые морфологические особенности *Machozetus lehmanni* были сообщены нами ранее [13], в этой статье приводятся данные по морфологии и морфометрическим показателям, а также вариациям (в том числе на разных участках ареала) данного вида.

Необходимо отметить, что в последнее время происходит значительное сокращение естественных местообитаний одного из ценных лекарственных растений – ферулы вонючей. Так как виды рода *Machozetus* являются специализированными фитофагами растений ферулы, детальное изучение как их морфо-биологических, так и популяционно-экологических особенностей, может иметь важное хозяйственное значение.

Материалы и методы исследования

Сбор материала проводился в пустынных регионах Бухарской, Кашкадарьинской и Навоийской областей Узбекистана в 2020–2021 гг. (рис. 1). Сбор материала проводился весной и летом методом ручного сбора, в основном ночью, так как жуки наиболее активны в ночное время. Собранных жуков фиксировали этилацетатом и раскладывали в ватные матрасики. Дальнейшее изучение морфологии жуков проводили в энтомологической лаборатории биологического факультета СамГУ. С материалом можно ознакомиться в энтомологической коллекции университета, где хранится весь собранный материал.

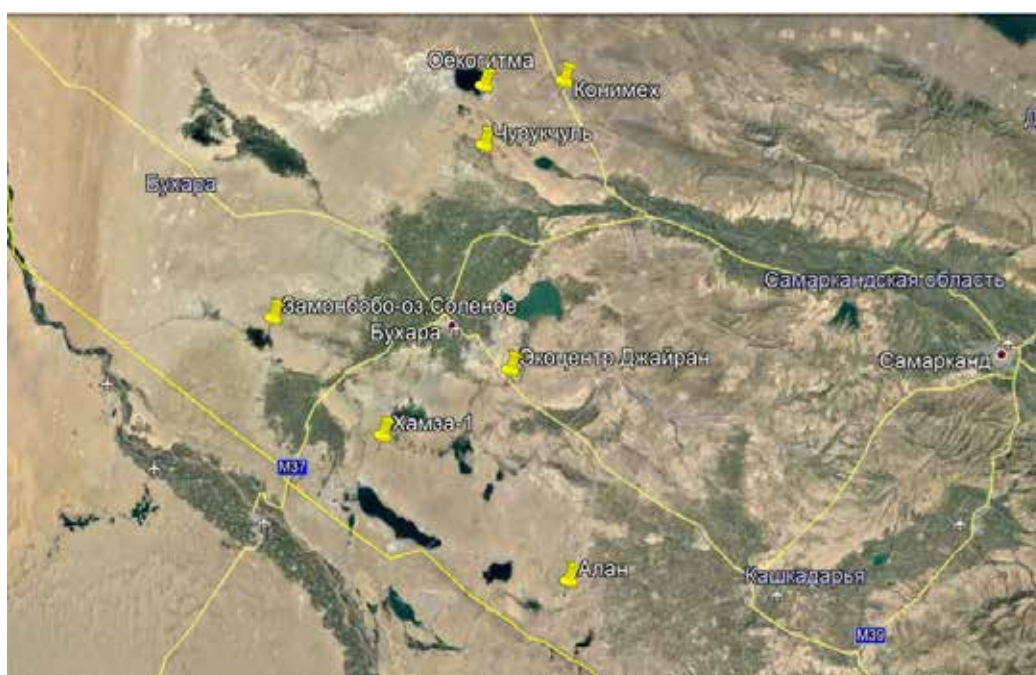


Рис. 1. Точки сбора материала

Изучение морфометрических показателей проводили с помощью мерного бинокулярного микроскопа МВС-9 с мерной линейкой.

Исследованы следующие морфометрические показатели: ДГ – длина головы, ШГ – ширина головы, РГ – расстояние между глаз, ДП – длина переднеспинки, ШП – ширина переднеспинки, ДЭ – длина элитры, ШЭ – ширина элитры и ДТ – общая длина тела (ДГ+ДП+ДЭ) (рис. 2). Дополнительно изучена пропорции разных частей тела: ДГ/ДТ, ШГ/ДТ, РГ/ДТ, ДП/ДТ, ШП/ДТ, ДЭ/ДТ, ШЭ/ДТ, ШП/ДП и ШЭ/ДЭ.

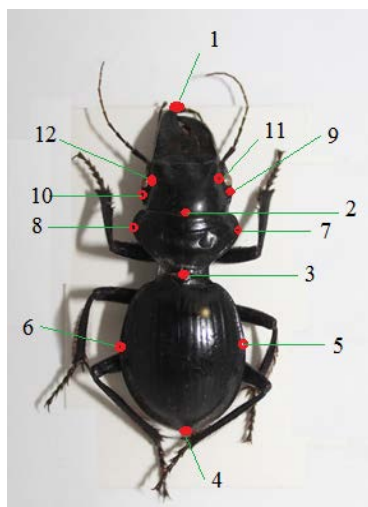


Рис. 2. Схема морфометрических измерений:
1–2 – длина головы – ДГ, 2–3 – длина переднеспинки – ДП, 3–4 – длина элитры – ДЭ, 5–6 – ширина элитры – ШЭ, 7–8 – ширина переднеспинки – ШП, 9–10 – ширина головы – ШГ, 11–12 – расстояние между глаз – РГ

Статистическая обработка полученных данных проводилась со стандартным пакетом Statistica 10. При этом были рассчитаны среднearифметические значения, стандартное отклонение, стандартная ошибка, коэффициент вариации и коэффициент корреляции между размерами разных частей тела.

Результаты исследования и их обсуждение

Виды рода *Machozetus* *Machozetus lehmanni* и *Machozetus concinnus* являются морфологически очень похожими видами, и их различия в основном проявляется в размерах тела. В исследованных территориях численность популяции этих двух видов существенно различается. Если *Machozetus lehmanni* было зарегистрировано во всех семи исследованных точках, то *Machozetus concinnus* выявлено только в двух точках (Экоцентр «Жайран», Бухарская обл., и пу-

стыня Алан района Минишкор Кашкадарьинской обл.) и малой численностью.

Machozetus concinnus – жук блестяще-черного цвета, длиной тела 20,2–25,5 мм. По морфологическим признакам очень похож на *Machozetus lehmanni* (рис. 3). Так как численность этого вида невысокая (всего собрано около 20 экземпляров) и собранный материал не подлежит статистической обработке, ниже приводим морфологическое описание только *Machozetus lehmanni*.

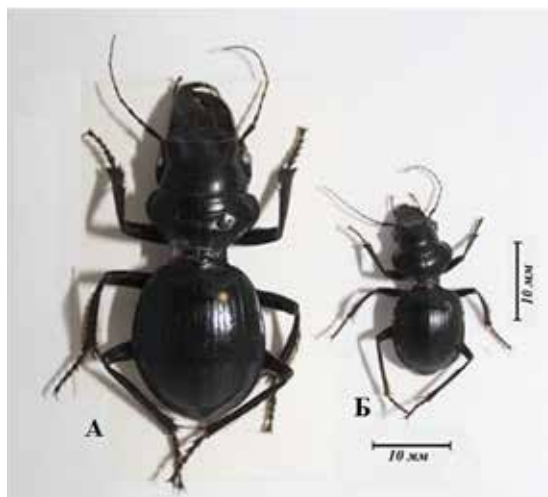


Рис. 3. Виды рода *Machozetus* Chaudoir, 1850:
А – *Machozetus lehmanni*;
Б – *Machozetus concinnus* (опуз.)

Machozetus lehmanni – крупный жук блестяще-черного цвета. Длина тела 29,6–42,8 мм. Голова крупная, вместе с челюстями длина головы составляет 10,7–17,5 мм, а ширина вместе с глазами – 7–11,3 мм, с очень сильно развитыми челюстями. Глаза крупные, черные или белые, в большинстве случаев черные глаза с белыми пятнами разных размеров в центре. Эти белые пятна иногда в центре глаз, иногда очень расширенные, в других случаях полностью охватывают глаза. В последнем случае глаза бывают белыми. Расстояние между глазами, в зависимости от ширины головы, составляет 6,3–9,6 мм. Усики 11-члениковые, 1-й членик очень крупный, 2-й членик в 1,5 раза короче остальных последующих члеников. 1–2-е членики усиков блестящие и имеют щетинки, начиная с 3-го членика, все остальные покрыты мелкими рыжими волосками. На кончике каждого членика расположены несколько щетинок – сенсилл.

Ротовой аппарат сильно развит. Верхняя губа покрыта рыжими волосками. Верхние челюсти крупные. Нижнечелюстные щупальца трёхчленные, черные, блестящие, кончик каждого членика желтоватый.

1-й членик крупный и толстый, в 1,5 раза длиннее 2-го членика. 3-й членик короткий, расширенный от основания к кончику, плоский. Щупальца нижних губ также трёхчленные, основной членик короткий, 2-й членик в 4–5 раза длиннее основного, 3-й членик в 1,5 раза длиннее основного, расширенный и плоский, кончик красновато-коричневый. Сама нижняя губа блестящего желтовато-коричневого цвета.

Ноги сильно развиты, бегательные, длинные, блестяще-черного цвета, покрыты коричневыми щетинками. Щетинки образуют плотные ряды по бокам голени.

Переднеспинка своеобразной сердцевидной формы, но нижняя часть не заостренная, всегда шире головы, в центре по вертикали проходит борозда. Длина переднеспинки – 5–7,1 мм, а ширина – 12–15,7 мм.

Элитра, как у большинства крупных жуков, сильно хитинизированная и сросшаяся. Блестяще-черного цвета. Места соединения двух надкрылий в виде узкой борозды. На каждой элитре имеются по 7–8 узких бороздок, которые делят надкрылия на полосы. Центральная бороздка, которая расположена между двумя надкрыльями, немного шире остальных. Ширина элитры составляет 12–15,7 мм, а длина – от 13,3 до 20,2 мм.

Вариация исследованных морфометрических показателей внутри популяции не очень высокая и является стабильными

признаками, так как для нестабильных признаков коэффициент вариации должен быть более 33,3 %. Статистический анализ данных показал, что наиболее вариабельной является длина головы ($C_v = 9,22$), а наименьшее значение коэффициента вариации ($C_v = 5,51$) наблюдается для ширины надкрылий (табл. 1).

Как известно, размеры разных органов тесно взаимосвязаны. Однако степени зависимости в размерах различных органов могут быть неодинаковыми. Для выяснения степени зависимости провели корреляционный анализ между морфометрическими показателями измеренных частей тела жуков (табл. 2).

Высокая корреляционная зависимость выявлена между шириной головы (ШГ) и расстоянием между глаз (РГ), между шириной переднеспинки (ШП) и шириной надкрылий (ШЭ), между длиной надкрылий и общей длиной тела ($r = 0,9$). Наименьшая коррелятивная зависимость выявлена между длиной головы (ДГ) и длиной переднеспинки (ДП) ($r = 0,31$). Также слабая зависимость отмечена между длиной переднеспинки (ДП) и шириной головы (ШГ), между длиной переднеспинки (ДП) и расстоянием между глаз (РГ) ($r = 0,50$). В общем, длина переднеспинки проявляет слабую зависимость от морфометрических показателей головной части.

Таблица 1

Морфометрические показатели жука *Machozetus lehmanni* и их вариации (n = 100)

Части тела	Max	Min	Средне-арифметическое, M	Стандартное отклонение, sd	Стандартная ошибка, m	Коэффициент вариации, C_v , %
ШГ	11,3	7	9,5	0,77	0,08	8,10 %
ДГ	17,5	10,7	13,7	1,26	0,14	9,22 %
РГ	9,6	6,3	7,6	0,62	0,07	8,15 %
ШП	13,3	10	11,7	0,69	0,07	5,95 %
ДП	7,1	5	6,0	0,39	0,04	6,57 %
ШЭ	15,7	12	13,6	0,75	0,08	5,51 %
ДЭ	20,2	13,3	17,3	1,17	0,13	6,77 %
ДТ	42,8	29,6	36,9	2,38	0,26	6,46 %
ШГ/ДТ	0,29	0,23	0,26	0,01	0,001	4,94 %
ДГ/ДТ	0,41	0,32	0,37	0,02	0,002	4,92 %
ШП/ДТ	0,36	0,3	0,32	0,01	0,001	3,72 %
ДП/ДТ	0,18	0,14	0,16	0,01	0,001	5,35 %
ШЭ/ДТ	0,43	0,34	0,37	0,01	0,001	3,60 %
ДЭ/ДТ	0,51	0,43	0,47	0,01	0,002	2,97 %
РГ/ДТ	0,24	0,19	0,21	0,01	0,001	5,55 %
ШП/ДП	2,32	1,73	1,96	0,10	0,01	5,11 %
ШЭ/ДЭ	0,98	0,71	0,79	0,04	0,004	4,85 %

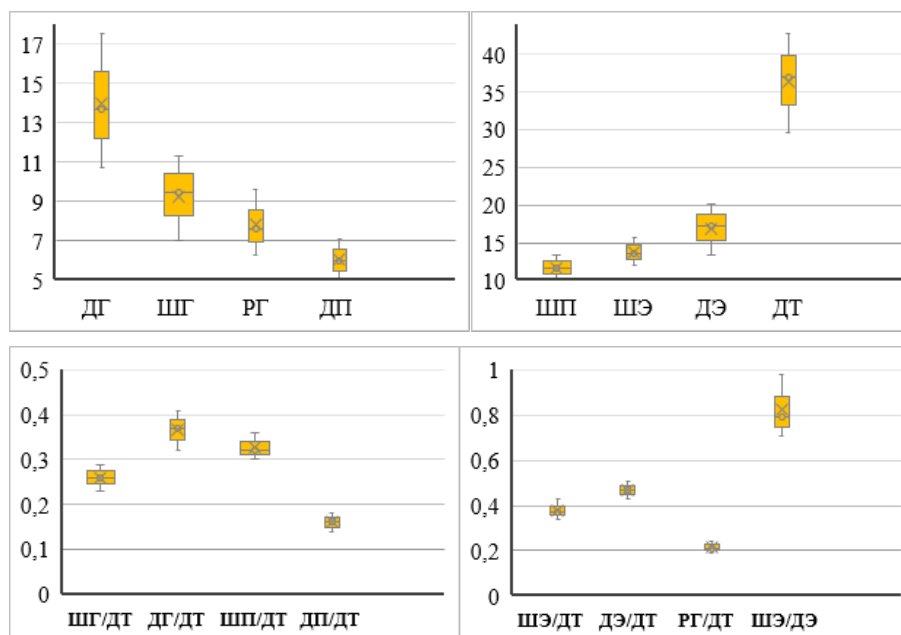


Рис. 4. Сдвиг в значениях морфометрических показателей у *Machozetus lehmani* (ед. изм. – мм, ✕ – среднеарифметическое значение, ■ – станд. ошибка, T – станд. отклонение)

Таблица 2

Корреляционная зависимость (r) между размерами разных частей тела у *Machozetus lehmani* ($n = 100$)

Части тела	ШГ	ДГ	РГ	ШП	ДП	ШЭ	ДЭ	ДТ
ШГ								
ДГ	0,79							
РГ	0,90	0,70						
ШП	0,85	0,70	0,84					
ДП	0,50	0,31	0,50	0,69				
ШЭ	0,77	0,69	0,76	0,90	0,66			
ДЭ	0,61	0,56	0,57	0,71	0,69	0,74		
ДТ	0,80	0,85	0,73	0,83	0,67	0,84	0,90	

Хотя все исследованные жуки были собраны в схожих пустынных биотопах, провели сравнительный анализ морфометрических показателей жуков из наиболее отдалённых участков. Для этого была выбрана пустыня Алан (Кашкадарьинская область, $38^{\circ}48'26.69$ »С, $64^{\circ}59'06.65$ »В) и Чурукчул (Бухарская область, $40^{\circ}25'29.43$ »С, $64^{\circ}42'55.88$ »В), расстояние между которыми составляло около 180 км. Из каждого участка измеряли по 30 случайных жуков. Полученные результаты показали некоторые различия в морфометрических показателях жуков (рис. 5).

Более крупными оказались жуки из участка Чурукчул, длина тела которых со-

ставляла 42,8 мм ($\pm 2,31$), а у жуков из участка Алан – 39,1 мм ($\pm 2,3$).

Интересен тот факт, что разница в размере тела в основном обеспечивается более крупными размерами головы. Так, среди измеренных морфометрических показателей существенные различия наблюдались только по размерам головы, а остальные показатели были практически на одном уровне. Вероятной причиной такой тенденции могут быть свойства (плотность) песка в исследованных участках, так как жуки *Machozetus lehmani* роют глубокие ходы в почве, там откладывают яйца и ухаживают за личинками, или же особенности кормового растения (соцветий и семян ферулы).

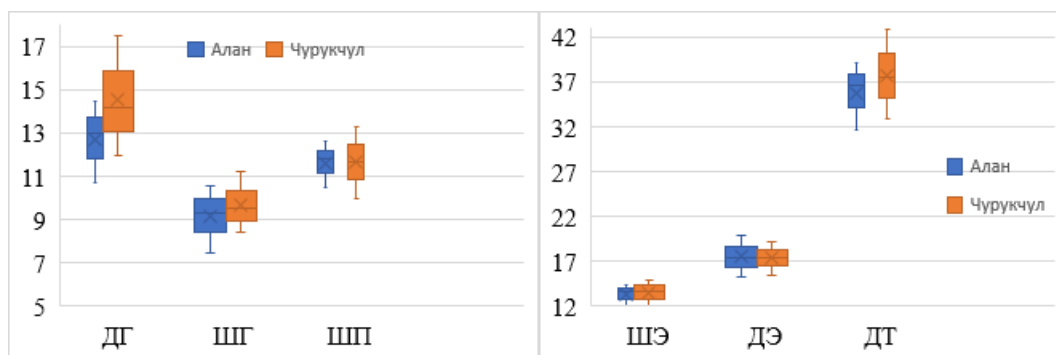


Рис. 5. Сравнение морфометрических показателей *Machozetus lehmani*, выявленных на двух наиболее отдалённых участках исследований (ед. изм. – мм, n = 30)

Хотя в некоторых работах для других видов жуужелиц размеры тела различались в зависимости от растительного покрова [14]. Однако это обстоятельство требует дальнейшего детального изучения.

Заклучение

Таким образом, *Machozetus lehmani* и *Machozetus concinnus* очень близкие по морфологическим особенностям виды, но сильно различаются по размеру тела. В настоящей работе проанализирована морфометрика и её вариации одного из уникальных видов жуужелиц Центральной Азии – *Machozetus lehmani*. Наиболее вариабельным признаком у *Machozetus lehmani* является длина головы, а наиболее стабильным признаком является ширина надкрылий. На разных участках ареала, в зависимости от почвенных условий, могут наблюдаться морфологические модификации, выражающиеся прежде всего в размерах головы.

Список литературы

1. Крыжановский О.Л. Состав и происхождение наземной фауны Средней Азии (главным образом на материале по жесткокрылым). М. – Л.: Наука, 1965. 430 с.
2. Kataev B.M., Wrase D.W. Taxonomic and faunistic notes on certain Anisodactylina, Harpalina, Ditomina and Amblystomina from the Palaearctic, Ethiopian and Oriental regions (Coleoptera: Carabidae: Harpalini). *Vernate*. 2016. № 35. P. 251–279.
3. Давлетшина А.Г., Аванесова Г.А., Мансуров А.К. Энтомофауна Юго-Западного Кызылкума. Ташкент: «Фан» УзССР, 1979. 128 с.
4. Farkas J. Фауна жуужелиц Репетекского заповедника (Coleoptera, Carabidae) // *Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отделение Биология*. 1998. Т. 103. Вып. 5. С. 22–23.

5. Шарова И.Х., Макаров К.В. Личинка жуужелицы *Machozetus lehmani* Men. (Coleoptera, Carabidae) // *Энтомологическое обозрение*. 1983. Vol. LXII. № 3. С. 524–528.
6. Khamraev A.Sh. Soil organisms and entomocomplexes in Khorezm and Karakalpakstan (Uzbekistan). *Soil ecology. ZEF BONN*. 2013. № 6. P. 1–67.
7. Moretti M., Dias A.T., de Bello F., Altermatt F., Chown S.L., Azcárate F.M., Bell J.R., Fournier B., Hedde M., Hortal J., Ibanez S., Öckinger E., Sousa J.P., Ellers J., Berg M.P. Handbook of protocols for standardized measurement of terrestrial invertebrate functional traits. *Functional Ecology*. 2017. № 31. P. 558–567.
8. Wood S.A., Karp D.S., DeClerck F., Kremen C., Naeem S., Palm C.A. Functional traits in agriculture: agrobiodiversity and ecosystem services. *Trends in Ecology & Evolution*. 2015. № 30. P. 531–539.
9. Bulgarella M., Trewick S.A., Godfrey A.J., Sinclair B.J., Morgan-Richards M. Elevational Variation in Adult Body Size and Growth Rate but Not in Metabolic Rate in the Tree Weta *Hemideina crassidens*. *J. of Insect Physiology*. 2015. Vol. 75. P. 30–38.
10. Rusynov V.I., Brygadyrenko V.V. Morphological Variability of a Population of *Anatolica Eremita* (Coleoptera, Tenebrionidae): Constancy of Morphometric Indices with Variation of Linear Parameters of the Body. *Baltic J. Coleopterol*. 2017. Vol. 17. № 2. P. 205–217.
11. Суходольская Р.А., Савельев А.А. Влияние экологических факторов на размерные признаки жуужелицы *Carabus granulatus* L. (Coleoptera, Carabidae) // *Экология*. 2014. № 5. С. 369–375.
12. Sukhodolskaya R. Variation in Body Size and Body Shape in Ground Beetle *Pterostichus melanarius* Ill. (Coleoptera, Carabidae). *J. of Agri-Food and Applied Sciences*. 2014. Vol. 2. № 7. P. 196–205.
13. Халимов Ф.З., Алимова Л.Х. Коврак визилдоги (*Machozetus lehmani* Menetries, 1848)нинг морфологик хусусиятлари // *Қарду хабарлари*. 2021. № 3(49). P. 54–60 б.
14. Ng K., Barton P.S., Blanchard W., Evans M.J., Lindenmayer D.B., Macfadyen S., Mcfadyen S., Driscoll D.A. Disentangling the effects of farmland use, habitat edges, and vegetation structure on ground beetle morphological traits. *Oecologia*. 2018. Vol. 188. P. 645–657.

УДК 631.416.9:631.452

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СЕРО-БУРЫХ ПОЧВ И ЛУКА

Исомиддинов З.Ж., Исағалиев М.Т., Юлдашев Г.Ю.

Ферганский государственный университет, Фергана, e-mail: murodjon-isa@mail.ru

В статье охарактеризованы свойства и особенности генетических горизонтов новоосвоенных и староорошаемых серо-бурых почв. Изучены биогеохимические свойства, количество циклических (Cr, Co, Sb) и рассеянных (Sc, Cs) микроэлементов в разных органах лука репчатого (*Allium cepa* L.). Показаны изменения количества и качества микроэлементов в различно окультуренных серо-бурых почвах, на которых выращивали лук. Содержание микроэлементов Sb, Cs в орошаемых серо-бурых почвах меньше, а количество Cr, Co и Sb выше литосферного кларка, с которыми коррелируются содержания элементов в илистых фракциях поливных вод. Отмечено более высокое накопление циклических и рассеянных микроэлементов в корнях лука. В новоосвоенных серо-бурых почвах положение микроэлементов в корнях лука имеет вид $Co > Sc > Cs > Sb > Cr$, а в листьях $Co > Cs > Sb > Sc > Cr$. Разработаны геохимические спектры количества микроэлементов в почвенных генетических горизонтах новоосвоенных и староорошаемых серо-бурых почв, а также в различных вегетативных органах лука. В элементном составе почвы и лука между циклическими и рассеянными элементами имеется тесная корреляционная связь. Коэффициент корреляции изменяется от 0,75 до 0,99 в новоосвоенных серо-бурых почвах и от 0,87 до 0,97 в староорошаемых. Коэффициент биологического поглощения в среднем лука колеблется 0,01–0,07, который указывает, что лук захватывает эти элементы, а не поглощает.

Ключевые слова: серо-бурые почвы, лук, геохимический спектр, микроэлементы, коэффициент биологического поглощения, корреляция

BIOGEOCHEMICAL FEATURES OF GRAY-BROWN SOILS AND ONIONS

Isomiddinov Z.Zh., Isagaliev M.T., Yuldashev G.Yu.

Fergana State University, Fergana, e-mail: murodjon-isa@mail.ru

The article characterizes the properties and features of the genetic horizons of newly irrigated and old irrigated gray-brown soils. The biogeochemical properties, the amount of cyclic (Cr, Co, Sb) and scattered (Sc, Cs) microelements in different organs of onion were studied. It is shown the changes in the amount of microelements in variously cultivated gray-brown soils on which onions were grown. The content of trace elements Sb, Cs in irrigated gray-brown soils is lower, and the amounts of Cr, Co and Sb are higher than the lithospheric clark, which correlates the content of elements in the silty fraction of irrigation waters. A higher accumulation of cyclic and scattered trace elements in onion roots was noted. In the newly irrigated gray-brown soils, the position of microelements in the onion root has the form $Co > Sc > Cs > Sb > Cr$, and in the leaves it has the form $Co > Cs > Sb > Sc > Cr$. The geochemical spectra of the amount of microelements in the soil genetic horizons of newly irrigated and old irrigated gray-brown soils, as well as in various vegetative organs of onion, have been developed. In the elemental composition of soil and onion, there is a close correlation between cyclic and trace elements. The correlation coefficient varies from 0.75 to 0.99 in irrigated gray-brown soils and from 0.87 to 0.97 in old irrigated ones. The onion biological absorption coefficient is 0.01–0.07, which indicates that the onion captures these elements and does not muffle.

Keywords: gray-brown soils, onion, geochemical spectrum, trace elements, biological absorption coefficient, correlation

В зоне орошения одним из наиболее актуальных вопросов является проведение научно-исследовательских работ по изучению геохимических и биогеохимических свойств и особенностей миграции и аккумуляции химических элементов, интенсивность биологического поглощения отдельных микроэлементов сельскохозяйственными культурами, в том числе луком в орошаемых серо-бурых почвах с относительно низким плодородием [1].

В луке содержатся в различных количествах некоторые педогенные элементы. В связи с этим учеными проводились исследования элементного химического состава лука, агротехники его возделывания, лечебных свойств. Среди них отметим работы М.Б. Алексеева в России [2], Р.У. Эшонкулову в Таджикистане [3], D.K. Adotey в Африке [4], Juan Carlos Dias-Perezl в США [5],

M.N.Yousuf в Бангладеш [6] и др. Изучены химический состав, влияние макро- и микроудобрений на рост, развитие и урожайность растений лука, влияние химических элементов в почве на качество и вкусовые характеристики лука и другие подобные свойства.

В исследованиях количественно и качественно определены N, P, K, S, Ca, Mg, Na, Zn, Mn, Fe и некоторые другие тяжелые элементы в луке, чесноке, а также в других растениях [7–9]. Показана теснейшая связь между урожайностью растений с агрохимическими и химическими составами почв [10, 11]. Как было оговорено выше, по культуре лука было проведено много исследований. Однако исследования ограничиваются агротехникой возделывания лука, нормами внесения минеральных и частично микро-, а также макроудобрений, водным режимом [12]. Исследова-

ния элементного состава и биогеохимических свойств лука в условиях орошаемых серо-бурых почв практически отсутствуют. Однако отмечено, что химический состав и качество лука, лекарственных свойств зависят от состава и количества, а также подвижности химических макро- и микроэлементов в почве.

Материалы и методы исследования

Опытно-производственные участки расположены на землях фермерских хозяйств Узбекистанского и Багдадского районов Ферганской области. В Багдадском районе почвы новоосвоенные серо-бурые, а в Узбекистанском районе староорошаемые.

Методами исследования почв являются морфогенетический метод В.В. Докучаева и физико-химические, нейтронно-активационные методы, а также общепринятые стандартные агрохимические методы, получившие широкое распространение в почвоведении. Элементный состав почвы и растений определен нейтронно-активационным методом в лаборатории экологии и биотехнологии Института ядерной физики АН РУз. При этом пробы в ядерном реакторе составляют 5×10^{13} нейтронов/см²с облученных потоком нейтронов, и количества химических элементов определялись исходя из периодов полураспада.

Результаты исследования и их обсуждение

Изученные орошаемые серо-бурые почвы имеют уникальное строение и химический состав, по продуктивности уступают сероземам и другим орошаемым почвам Ферганской долины. Серо-бурые почвы – это автоморфные почвы пустынной зоны, развиты они на древних поверхностях, останцовых плато, древних конусах выноса, верхних террасах и дельтах рек [1].

Почвообразующими породами для этих почв являются третичные и меловые песчаники, глины, мергели, известняки, галечники, а также широко распространенные скелетные древние пролювиальные и аллювиальные отложения.

Морфологические признаки серо-бурых почв значительно отличаются от других почв региона. Желтовато-бурый цвет присущ этим почвам и начинается после верхнего светло-серого цвета мощностью 10–15 см, в котором присутствуют белые ячеисто-карбонатные пятна, зерна гипса и соединения железа. Это продукт современных процессов почвообразования.

Мощность гумусового горизонта, количество и качество элементов питания, а также мощность и скелетность слоя, уровень каменито-гравийного состава являют-

ся важными показателями при определении плодородия орошаемых автоморфных серо-бурых почв пустынной зоны. В пустынной зоне по мере увеличения периода орошения в зависимости от мутности поливной воды постепенно увеличиваются мощность гумусового и агроирригационного горизонтов, содержание гумуса, валовых и подвижных элементов. Количество гумуса в агроирригационном горизонте староорошаемых серо-бурых почв составляет 1,02%. Этот показатель в новоосвоенных серо-бурых почвах составляет 0,60%.

Источником орошения этой территории являются мутные воды реки Сох, уровень мутности которой меняется в зависимости от сезона года. В период орошения, т.е. в июне, июле и августе, уровень мутности воды достигает 2,2–4,3 г/л.

Суммарное количество растворенных солей и мутных стоков в водах р. Сох составляет 1204 мг/л, коагулирующая способность оценивается как высокая [1].

Согласно анализу при максимальном расходе речной воды в период поливов количество твердого стока в среднем составило 2,21 г/л. Среднее содержание гумуса в осадках составило 1,544% (n = 7), подвижного фосфора 24,0 мг/кг и калия 194 мг/кг. Таким образом, несмотря на относительно короткий период освоения земель, формирование агроирригационного слоя и повышение плодородия почв можно оценить как положительное влияние показателей мутности и состава стоков р. Сох.

Известно, что количество химических элементов и их соединений в почве изменяется в зависимости от характера проявления факторов почвообразования. Классификация химических элементов, содержащихся в почвах по В.И. Вернадскому [13], делится на группу циклические (Cr, Co, Sb), рассеянные (Sc, Cs) и др. Количество циклических и рассеянных микроэлементов по данным анализа проб почв, отобранных из генетических горизонтов изученных орошаемых серо-бурых почв и осадочных отложений р. Сох, приведено в табл. 1.

Количество микроэлементов Sb, Cs в изученных почвах меньше, чем литосферного кларка. Содержание микроэлементов Sc, Cr, Co, напротив, превышает количество литосферного кларка и варьируют в пределах Cr 41–57, Co 6,6–12,0, Sc 6,7–11,0 мг/кг. Это свидетельствует о том, что в генетических горизонтах орошаемых серо-бурых почв, сформированных в трансэлювиально-аккумулятивных ландшафтах в зависимости от состава и норм поливной воды происходит аккумуляция вышеуказанных циклических и рассеянных микроэлементов.

Таблица 1

Изменение количества циклических и рассеянных элементов в генетических горизонтах почв, мг/кг (n = 6)

Номер разрезов	Глубина, см	Cr	Co	Sb	Sc	Cs
1/баг	0–25	41,0	6,6	0,97	6,7	4,2
	25–45	54,0	9,6	1,3	11,0	6,8
	45–55	51,0	10,0	1,1	9,9	7,9
2/уз	0–28	57,0	12,0	2,2	10,0	6,6
	28–48	43,0	9,8	2,3	8,8	5,3
	48–70	46,0	12,0	1,3	9,5	5,8
Ил осадков (n = 7)		8,6	54,0	9,2	1,3	6,3
Кларк литосферы [1]		10,0	3,7	18,0	0,5	83
Кларк почвы [1]		7,0	5,0	8,0	0,24	200

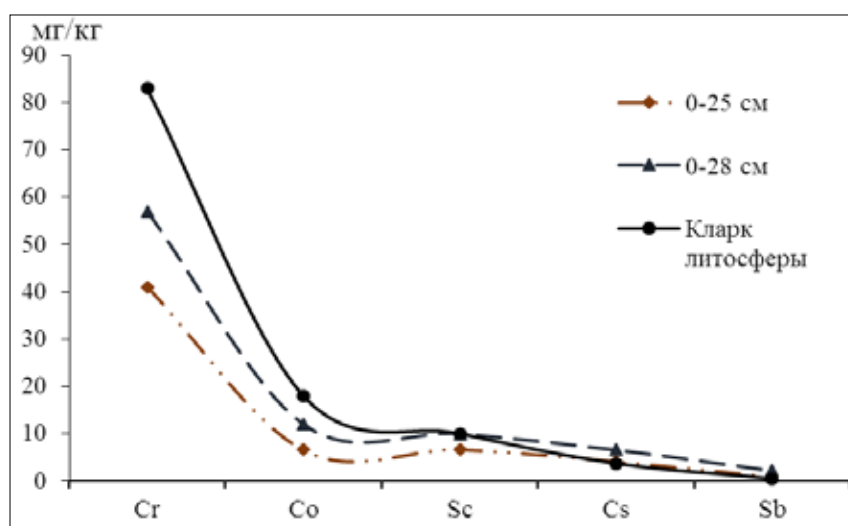


Рис. 1. Геохимический спектр микроэлементов в серо-бурых почвах

В подпочвенном горизонте новоосвоенных серо-бурых почв содержание микроэлементов относительно более высокое, чем в пахотных горизонтах. В староорошаемых серо-бурых почвах наблюдается обратная картина, что, очевидно, связано с длительностью влияния оросительных вод. По мере повышения степени окультуренности орошаемых серо-бурых почв циклические, рассеянные микроэлементы накапливаются в их верхних горизонтах в зависимости от количества гумуса и механического состава. Эту ситуацию можно проследить и на геохимическом спектре в порядке убывания количества микроэлементов в пахотных горизонтах орошаемых серо-бурых почв разного уровня окультуренности (рис. 1).

Относительно низкое кларковое содержание Cs, Sb и более высокое содержание

Sc, Cr, Co сохранялись в орошаемых серо-бурых почвах.

Большинство химических анализов показывает [14], что элементный состав растения, произрастающего в определенных почвенных условиях, изменяется в зависимости от количества химических элементов в этой почве. Усвоение растениями и накопление химических элементов в органах растений различны в зависимости от фазы развития, что можно проследить по данным табл. 2.

В луке репчатом (*Allium cepa* L.) содержание Cr варьирует от 0,47 до 0,35 мг/кг, Co от 0,055 до 0,0031 мг/кг, Sc от 0,017 до 0,0086 мг/кг, Cs от 0,028 до 0,012 мг/кг, Sb от 0,02 до 0,015 мг/кг. Содержание этих элементов в пахотном горизонте почв составляют: Cr – 41–57 мг/кг, Co – 6,6–12,0 мг/кг, Sc – 6,7–10,0 мг/кг, Cs – 4,2–6,6 мг/кг, Sb – 0,97–2,2 мг/кг.

Таблица 2

Изменение содержания микроэлементов в органах лука репчатого (*Allium cepa* L.), мг/кг (n = 6)

Номер разреза (название почв)	Органы растений	Cr	Co	Sb	Sc	Cs
1/баг (новоосвоенные серо-бурые почвы)	луковица	0,47	0,055	0,020	0,017	0,028
	листья	1,20	0,140	0,043	0,079	0,082
	корни	1,90	1,200	0,140	0,230	0,310
	среднее	1,19	0,465	0,068	0,109	0,122
2/уз (староорошаемые серо-бурые почвы)	луковица	0,35	0,031	0,015	0,009	0,012
	листья	1,20	0,150	0,051	0,09	0,090
	корни	3,80	1,100	0,023	0,440	0,430
	среднее	1,78	0,427	0,030	0,180	0,177

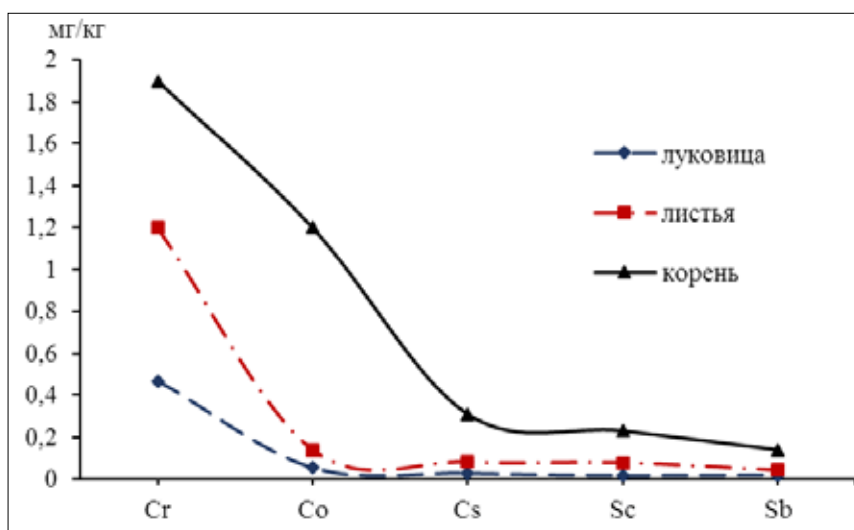


Рис. 2. Геохимический спектр микроэлементов в органах растений лука репчатого (*Allium cepa* L.) (1/баг)

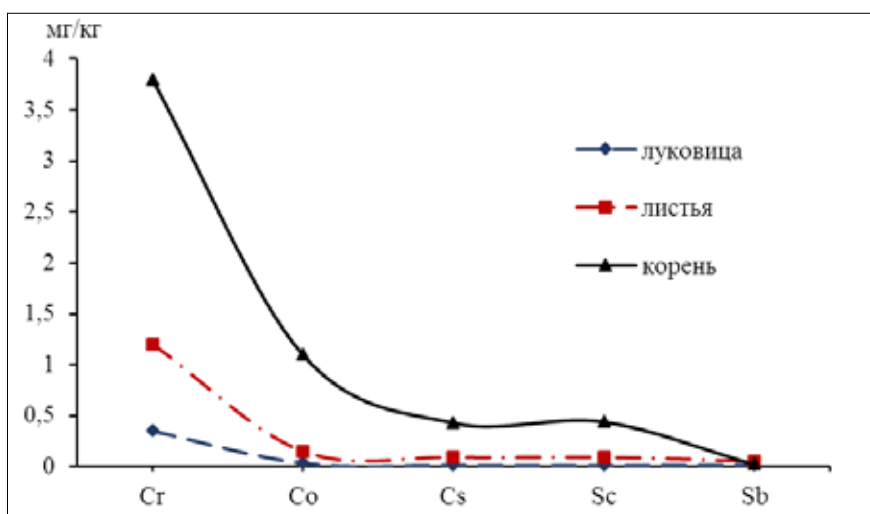


Рис. 3. Геохимический спектр микроэлементов в органах растений лука репчатого (*Allium cepa* L.) (2/уз)

Таблица 3

Изменение коэффициентов биологического поглощения (Ах)
лука репчатого (*Allium cepa* L.) (n = 6)

Элемент	Лук (<i>Allium cepa</i> L.) 1/баг				Лук (<i>Allium cepa</i> L.) 2/уз			
	луковица	листья	корни	среднее	луковица	листья	корни	среднее
Cr	0,011	0,029	0,046	0,029	0,006	0,021	0,067	0,031
Co	0,008	0,021	0,182	0,070	0,003	0,013	0,092	0,036
Sb	0,021	0,044	0,144	0,070	0,007	0,023	0,010	0,013
Sc	0,003	0,012	0,034	0,016	0,001	0,009	0,044	0,018
Cs	0,007	0,020	0,074	0,033	0,002	0,014	0,065	0,027

Из таблицы 3 видно, что Sc и Cr накапливаются в корнях лука, выращенного на староорошаемых серо-бурых почвах, в два раза больше, чем в корнях луковиц, выращенных на новоосвоенных серо-бурых почв. Cs, Co и Sb накапливаются в корнях лука в условиях орошаемых почв, где Sb поглощается до 6 раз больше, и этот показатель не превышает допустимой нормы.

Орошаемые серо-бурые почвы относительно богаты Cr, Sc, Co, Sb и Cs. В листьях и луковицах наблюдается, что количество изученных микроэлементов было практически близким между собой (рис. 2, 3).

При изучении процесса биогенной миграции циклических и рассеянных элементов в первую очередь изучалось поглощение их растением лука репчатого. При этом использовалась формула, предложенная А.И. Перельманом. Результаты приведены ниже.

Доказано, что показатель коэффициентов биологического поглощения лука репчатого в различных органах варьирует в зависимости от количества элементов в почвах и физиологических функций органов. Изученные элементы согласно классификации А.И. Перельмана луком захватываются, а не поглощаются.

Заключение

Таким образом, между содержанием микроэлементов в луке репчатом и его листьях, корнях и содержанием микроэлементов в орошаемых почвах существует интегральная зависимость. Между содержаниями циклических и рассеянных элементов в орошаемых серо-бурых почвах и в луке, выращенном на этих почвах, имеется корреляционная связь. Коэффициент корреляции колеблется от 0,75 до 0,99 в новоосвоенных и от 0,87 до 0,97 в староорошаемых почвах. Сильная корреляционная связь совпала с Cr, Co, Sc и Cs, в то время

как Sb наблюдается относительно низкая связь. Это связано со способностью органов лука избирательно поглощать изученные химические элементы.

В староорошаемых серо-бурых почвах накопление микроэлементов в корнях, луковицах и листьях лука выше по сравнению с новоосвоенными. В корнях в 1,4–44,0 раза больше, чем в луковицах, в 3,2–7,1 раза больше, чем в листьях. Только Sb накапливается в листьях лука в 0,4 раза больше, чем в корнях, и не превышает допустимой нормы.

Контролируя количество и качество микроэлементов в почве, их миграцию и другие биогеохимические свойства, можно контролировать химический состав сельскохозяйственных культур, в том числе лука, выращиваемого на орошаемых землях. Это в свою очередь приводит к повышению урожайности и качества сельскохозяйственных культур, а также экологической ценности продукции.

Список литературы

1. Юлдашев Г., Исагалиев М. Геохимия почв конусов выноса. Т.: ФАН, 2012. 160 с.
2. Алексеева М.В. Репчатый лук. М.: Колос, 1982. С. 108–114.
3. Эшанкулова Р.У. Эффективность норм и соотношений минеральных удобрений под раннеспелый сорт репчатого лука Пешпазак в условиях Гиссарской долины: автореф. дис. ... канд. сельхоз. наук. Душанбе, 2005. 28 с.
4. Adotey D.K., Serfor-Arma Y., Fianko J.R., Yeboah P.O. Essential elements content in core vegetables grown and consumed in Ghana by instrumental neutron activation analysis. African Journal of Food Science. September. 2009. Vol. 3. No. 9. P. 243–249.
5. Juan Carlos Diaz-Perez1, Jesus Bautista, Gunawati Gunawan, and Anthony Bateman. Sweet onion (*Allium cepa* L.) as influenced by organic fertilization Rate: 1. Plant Growth, and Leaf and Bulb Mineral Composition. HortScience. 2018. Vol. 53. No. 4. P. 451–458.
6. Yousuf M.N., Akter S., Haque M.I., Mohammad N., Zaman M.S. Compositional nutrient diagnosis (CND) of onion (*Allium cepa* L.). Bangladesh Journal of Agricultural Research. 2013. Vol. 38. No. 2. P. 271–287.

7. Md. Monir Hossain, Khaleda Khatun, Md. Ehsanul Haq, Montasir Ahmed and Md. Shefat-Al-Maruf. Macro and micro nutritional effect on seed yield of onion. *Advances in Research*. 2017. Vol. 12. No.1. P. 1–9.
8. Bedassa M., Abebaw A., Desalegn T. Assessment of Selected Heavy Metals in Onion Bulb and Onion Leaf (*Allium cepa* L.), in Selected Areas of Central Rift Valley of Oromia Region Ethiopia. *Journal of Horticulture*. 2017. Vol. 4. No. 4. P. 2–5.
9. Fait S., Fakhi S., ElMzibri M., Malek O.A., Racgdi B., Faiz Z., Fougrach H., Badri W., Smouni A. and Fahr M. Behavior of As, Cd, Co, Cr, Cu, Pb, Ni, and Zn at the soil/plant interface around an uncontrolled landfill (Casablanca, Morocco). *Remediation Journal*, 2018. Vol. 28. No. 4. P. 65–72.
10. Абдухакимова Х., Исагалиев М. Изменение содержания мышьяка и тяжелых металлов в сероземах юга Ферганы // Научное обозрение. Биологические науки. 2020. № 4. С. 16–21. DOI: 10.17513/srbs.1208.
11. Исагалиев М.Т., Юлдашев Г., Абдухакимова Х.А., Обидов М.В. Биомикроэлементы в сероземах юга Ферганы / Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник материалов: в 2 кн. / XV Международная научно-практическая конференция (12–13 марта 2020 г.). Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2020. Кн. 1. С. 364–366.
12. Demis F., Hussien M., Fekadu G. Influence of Nitrogen and Phosphorus fertilizer Rates on Seed Yield, Yield Components and Quality of Onion (*Allium cepa* L.) at Kulumsa in Arsi Zone, South East Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research*. 2019. Vol. 14. No. 33. P. 1795–1808.
13. Вернадский В.И. Труды по биогеохимии и геохимии почв. М.: Наука, 1992. 437 с.
14. Isagaliev M., Yuldashev G., Abdulkhakimova Kh. Geochemistry of biotrace elements in irrigated serozems of the south of Fergana. *European Sciences Review*. Vienna. 2018. Vol. 2. No. 11-12. P. 25–28.

УДК 57.084.1

ИССЛЕДОВАНИЕ СУБХРОНИЧЕСКОЙ ТОКСИЧНОСТИ С ОЦЕНКОЙ МЕСТНОРАЗДРАЖАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ СУБСТАНЦИИ DMAE 7-16

¹Соловьев Н.В., ¹Щуровская К.В., ^{1,2}Жунусов Н.С.,¹Сазонова В.Е., ¹Черняева С.С., ¹Ефименко С.В.¹ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»,
Белгород, e-mail: nzhunu@mail.ru;²Лаборатория генетических технологий и генного редактирования
для биомедицины и ветеринарии, Белгород, e-mail: nzhunu@mail.ru

Исследование субхронической токсичности субстанции DMAE 7-16 проводилось на лабораторных крысах линии Wistar. Дозы рассчитывались с использованием коэффициента пересчёта доз согласно методическим указаниям, находящимся в «Руководстве по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ». Препарат вводили внутривентрикулярно один раз в сутки в течение 2 недель. Перед началом эксперимента животные прошли двухнедельный карантин. Рандомизацию животных проводили по полу и массе тела. На 15-й и 29-й день опыта у крыс проводился забор проб крови для проведения гематологических и биохимических исследований. После эвтаназии животных осуществляли забор органов для последующего морфологического исследования с проведением гравиметрии органов. По результатам гематологического, биохимического исследования крови токсических или других изменений во всех группах животных не выявлено. По результатам гравиметрического, макроскопического и микроскопического исследования внутренних органов крыс, получавших субстанцию DMAE 7-16 в однократной (0,01 г/кг/сут) и четырехкратной (0,04 г/кг/сут) дозах, установлено, что данная субстанция не вызывает дистрофических, воспалительных и иных патологических изменений внутренних органов, в том числе местнораздражающего действия в исследуемых дозах.

Ключевые слова: субхроническая токсичность, токсичность, субстанция, вещества, фармакология

STUDY OF SUBCHRONIC TOXICITY WITH ESTIMATION OF LOCAL IRRITATING EFFECT OF SUBSTANCE DMAE 7-16

¹Solovev N.V., ¹Schurovskaya K.V., ^{1,2}Zhunosov N.S.,¹Sazonova V.E., ¹Chernyaeva S.S., ¹Efimenko S.V.¹Belgorod State National Research University, Belgorod, e-mail: nzhunu@mail.ru;²Laboratory of Genetic Technologies and Gene Editing for Veterinary Medicine and Biomedicine,
Belgorod, e-mail: nzhunu@mail.ru

The study of subchronic toxicity of the substance DMAE 7-16 was carried out on laboratory rats of the Wistar line. The doses were calculated using the dose conversion factor according to the methodological guidelines contained in the "Guidelines for experimental (preclinical) study of new pharmacological substances". The drug was administered intragastrically once a day for 2 weeks. Before the start of the experiments, the animals underwent a two-week quarantine. Animals were randomized according to sex and body weight. On the 15th and 29th days of the experiment, blood samples were taken from the rats for hematological and biochemical studies. After the euthanasia of the animals, organs were harvested for subsequent morphological studies with organ gravimetry. According to the results of hematological, biochemical blood tests, toxic or other changes in all groups of animals were not revealed. According to the results of gravimetric, macroscopic and microscopic examination of the internal organs of rats treated with the substance DMAE 7-16 in a single (0.01 g / kg / day) and fourfold (0.04 g / kg / day) doses, it was found that this substance does not cause dystrophic, inflammatory and other pathological changes in internal organs, including local irritating action in the studied doses.

Keywords: subchronic toxicity, toxicity, substance, drug, pharmacology

Более 10 лет назад Всемирной организацией здравоохранения была собрана, проанализирована и опубликована статистика, представляющая средние показатели распространённости артериальной гипертензии среди населения различных стран по всему миру. Так, было зарегистрировано более 1 млрд (40%) случаев обращений в клиники, связанных с патологией сердечно-сосудистой системы, приводящей к повышенному артериальному давлению.

На фоне ретинопатии чаще возникают окклюзии сосудов сетчатки, что требует экстренной помощи для сохранения зрения. Отсутствие своевременного фармакологического вмешательства приводит к полной или частичной потере зрения и инвалидности.

При артериальном давлении выше 130 мм рт. ст. в нашем организме одним из распространенных органов-мишеней являются глаза, а именно сетчатка. При раз-

витии гипертонической болезни специфические изменения в сетчатке появляются примерно в 66% случаев. Гипертоническая нейроретинопатия опасна тем, что повреждения сосудов сетчатки провоцируют развитие их окклюзии, что требует скорого лечения. При отсутствии медикаментозной терапии ретинопатия нередко вытекает в полную потерю зрения, что может быть обусловлено как дистрофией сетчатки, так и атрофией зрительного нерва.

Все патологии, затрагивающие целостность и нормальное физиологическое состояние микроциркуляторной сосудистой системы глаза, включены в список основных причин возникновения слепоты, что показывает их важную роль в ухудшении зрения вплоть до его потери. Лечение гипертонической нейроретинопатии не имеет направленной терапии на сетчатку и основано только на лечении основной патологии. Несмотря на это, последствия развития гипертонической нейроретинопатии требуют создания препаратов, имеющих строгий вектор направленности, подразумевающий фармакологическое воздействие не только на сетчатку, но и сосуды.

В исследованиях [1, 2] была показана статистика диагностированных ретинопатий: примерно в половине случаев обращений, связанных с заболеванием сетчатки и зрительного нерва, были выявлены ретинопатии, этиологией которых являлось нарушение микроциркуляторной системы глаза. Первостепенными задачами фармакологии в области офтальмотерапии предстают поиск и исследование фармакологически активных веществ, способных предупредить развитие локальных ишемических патологических явлений [3, 4], направленных на коррекцию микрососудистого давления в области глазного яблока [5, 6], а также в иных органах и системах организма [7, 8].

На данный момент химическое соединение с лабораторным шифром DMAE 7–16, полное химическое название которого – 2-диметиламиноэтанол L-2-аминопентандиоат, представляет собой многообещающее решение в качестве основного медикаментозного компонента в лечении заболеваний, связанных с патологией микроциркуляторного русла глазного яблока. Данное вещество способно улучшить исследуемые критерии, состоящие микроциркуляторного русла, электрофизиологическое состояние сетчатки, морфологическую картину [9]. А.А. Пересыпкиной с соавт. было проведено исследование на модели нейроретинопатии с повышенным артериальным давлением, демонстрирующее многообещающую эффективность

вещества DMAE 7–16 [9]. Нейро- и ангиопротективное действие показано наиболее эффективно при применении дозы 25 мг/кг в сутки. Это лучше результатов использования DMAE 7–16 дозировкой 12,5 мг/кг в сутки. Основными критериями оценки эффективности терапии данным соединением явились предотвращение развития нейрональных и сосудистых повреждений в сетчатке в модельной группе по сравнению с контрольной группой, положительное влияние на динамику коэффициента b/a в группах терапии развивающейся патологии – это выражалось восстановлением волны b на ЭРГ [9].

Определение токсических свойств новых соединений является важным компонентом их изучения и анализа возможностей внедрения в терапию определённых патологических состояний. Рост числа осложнений при артериальной гипертензии, атеросклерозе, сахарном диабете требует расширения сегмента глазных лекарственных форм, направленных на лечение не только болезней сосудистой оболочки глаза, но и нейронов сетчатки, гибель которых индуцирована преимущественно ишемическим компонентом данных заболеваний [10].

Цель исследования заключалась в определении субхронической токсичности и местнораздражающего действия субстанции DMAE 7–16.

Материалы и методы исследования

При исследовании субхронической токсичности исследуемую субстанцию под лабораторным шифром DMAE 7–16 вводили в дозах, которые при пересчете с человека на животного составляли однократную и четырехкратную терапевтические дозы. Для пересчета доз с человека на животного использовали коэффициент пересчета доз, указанный в «Руководстве по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ». Введение препарата осуществляли внутрижелудочно один раз в сутки в течение 14 дней.

Исследование субхронической четырнадцатидневной токсичности проводили на самцах и самках белых лабораторных крыс линии Wistar. Рандомизацию осуществляли после двухнедельного периода карантина и адаптации. Животных содержали по шесть в клетке, в комнатах содержания животных соблюдался режим день/ночь длительностью 12 ч, при стандартных температуре и влажности рекомендованных для вивариев. На всем протяжении исследования использовали гранулированный лабораторный корм (сертификат № РОСС RU/П081.В00.365 ГОСТ 50258-92).

Этические принципы обращения с лабораторными животными соблюдались в соответствии с «European Convention for the Protection of Vertebrate Animals used for Experimental and other Scientific Purposes. CETS No. 170». Все материалы исследования задокументированы как первичные данные исследования и находятся в общей папке по исследованию.

В соответствии с указаниями, разработанными Федеральным государственным бюджетным учреждением «Научный центр экспертизы средств медицинского применения» «Руководством по проведению доклинических исследований лекарственных средств», при исследовании были использованы такие методы, как визуальный, инструментальный и лабораторный методы контроля состояния животных, для оценки действия препаратов [11].

Экспериментальные животные были разделены на три группы (по 12 животных в каждой), в соответствии с тремя сериями опытов по изучению субхронической 14-дневной токсичности:

1 группа животных – контрольная (ежедневное внутрижелудочное введение 1% крахмального клейстера);

2 группа животных – DMAE 7–16 в дозе 0,01 г/кг/сут;

3 группа животных – DMAE 7–16 в дозе 0,04 г/кг/сут.

Было проведено определение основных характеристик у животных по окончании карантина, длящегося 14 дней, и их адаптации к новым условиям. Рассматривались масса тела, ритмичность дыхания, двигательная активность, тестировались поведенческие реакции, оценивалось потребление воды и пищи, проводился визуальный осмотр состояния слизистых, кожного покрова, волосяного покрова, рассматривалась реакция на внешние раздражители. Исследование длилось 28 дней: первый этап включал применение субстанции в течение первых двух недель, после которого оставшиеся две недели животные находились под наблюдением без применения препаратов.

При этом еженедельно контролировали основные показатели для оценки общего состояния животных.

Все манипуляции с животными проводились с применением наркоза. На 15-й и 29-й день эксперимента у животных проводился забор проб крови для проведения гематологических и биохимических исследований. Сразу после эвтаназии животных осуществлялась некропсия с последующим гравиметрическим анализом органов, а также забор органов и тканей для последующего морфологического исследования.

Биохимическое исследование крови проводили на анализаторе Olympus AU 640, выявлялись биохимические параметры, отвечающие за повреждение внутренних органов. Забор проб крови проводили после введения препарата в течение 14 дней, и после 14-дневного периода отмены препарата. С помощью гематологического анализатора CELL-DYN 3700 проводили анализ крови на содержание гемоглобина, эритроцитов, тромбоцитов и лейкоцитов, определяли лейкоцитарную формулу.

Полученные данные были выборочно обработаны с помощью компьютерных программ Microsoft Excel 2019 и Statistica 10 (StatSoft, США). Были применены основные описательные статистики: среднее, стандартная ошибка средней. Для сравнения средних количественных показателей между группами использовали t-аспект Стьюдента для независимых групп или критерий Манна – Уитни (U-тест) в зависимости от типа распределения показателей (нормальное / ненормальное). Достоверные различия принимались при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

После 14-дневного внутрижелудочного введения соединения DMAE 7–16 в исследуемых дозах не было выявлено влияния соединения на содержание гемоглобина в крови. Также во всех группах было обнаружено нормальное содержание эритроцитов с отсутствием статистически значимых отличий от его уровня в крови животных из контрольной группы, принимавших плацебо. Вместе с тем не наблюдалось изменений в числе лейкоцитов и тромбоцитов. Введение соединения DMAE 7–16 в дозах 0,01 г/кг в сутки и 0,04 г/кг в сутки (что соответствует однократной и четырёхкратной дозам) не оказывало значимого влияния на лейкограмму, которая статистически не отличалась от лейкограммы животных с плацебо. В результате обработки данных сделан вывод об отсутствии субхронической токсичности субстанции DMAE 7–16 в отношении крови в исследуемых дозах.

Содержание общего белка у животных экспериментальной группы, которым вводили субстанцию DMAE 7–16 в дозах 0,01 г/кг в сутки и 0,04 г/кг в сутки, было сравнимо с уровнем белка у животных контрольной группы, получавшим 1% крахмальный клейстер. По окончании времени, в течение которого препарат полностью выводится из организма, также измеряли уровень общего белка. Содержание находилось в рамках нормальных значений и статистически не отличалось между всеми группами.

Под влиянием препарата DMAE 7–16 в однократной дозе и четырехкратной дозе содержание глюкозы в крови находилось в пределах физиологической нормы как в первой части эксперимента во время введения препарата, так и после его отмены. Это позволяет сделать заключение о том, что субстанция не оказывает негативного влияния на углеводный обмен.

Концентрация мочевины в крови животных во время применения препарата и после его отмены находилась в диапазонах нормы во всех исследуемых группах, что говорит об отсутствии значимого влияния на фильтрационную функцию почек у субстанции DMAE 7–16.

Во всех исследуемых группах показатели концентрации креатинина соответствовали норме, что говорит об отсутствии негативного влияния исследуемой субстанции DMAE 7–16 в однократной (0,01 г/кг в сутки) и четырехкратной (0,04 г/кг в сутки) дозах на функции почек.

Проведение анализов, выявляющих активность АСТ и АЛТ, показало отсутствие влияния соединения DMAE 7–16 на нормальную функциональность печени.

В течение всех 28 суток, на протяжении которых длился эксперимент, не было зафиксировано ни одной смерти как в экспериментальных группах с введением DMAE 7–16 в однократной и четырехкратной дозах, так и в контрольных группах с введением плацебо. По этой причине все экспериментальные животные были подвержены вскрытию с целью направить на морфологическое исследование следующие внутренние органы: печень, почки, селезенка, гонады, мочевой пузырь, тимус, лёгкие, сердце и головной мозг.

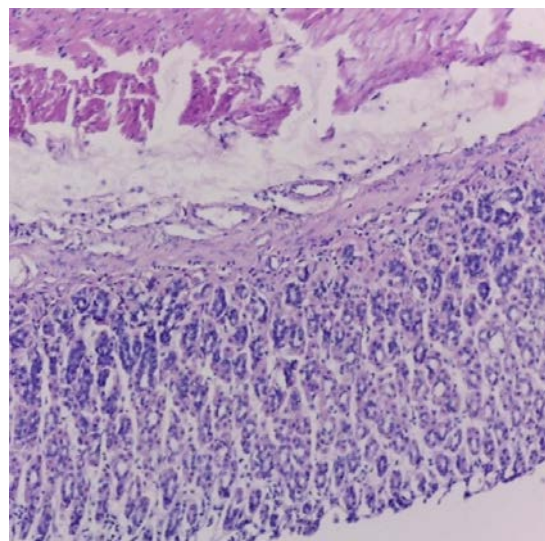
Микроскопическое исследование органов животных всех групп показало, что субстанция DMAE 7–16 в исследуемых дозах не оказывает токсического влияния, приводящего к патологическим изменениям.

Гистологическая картина извлечённых внутренних органов у животных экспериментальной группы, которым вводили соединение DMAE 7–16 в дозах 0,01 г/кг в сутки и 0,04 г/кг в сутки, была аналогична гистологической картине животных из контрольной группы, принимавших 1% крахмальный клейстер.

Общая структура стенки желудка обычная. Толщина железистой слизистой оболочки составляет 410–490 мкм. Желудочные ямки имеют равномерное распределение, ровные контуры, их глубина составляет 80–120 мкм. На поверхности находится среднее количество слизи. Фундальные железы равномерно и плотно распределены в толще

слизистой оболочки желудка, имеют хорошо различимую дифференцировку: поверхностная часть имеет протяжённость 160–190 мкм, образованная слизистыми и париетальными клетками, и нижняя часть длиной примерно 175 мкм, состоящая из главных клеток. Париетальные клетки ацидофильны, содержат гомогенную оксифильную цитоплазму. Главные клетки содержат базофильную цитоплазму со средней степенью гранулированности. Ядерные изменения не обнаружены. Собственная пластинка слизистой оболочки с тонкими прослойками между собственными железами, лейкоцитарной инфильтрации в значительной мере не наблюдается. Остальные оболочки стенки желудка без изменений. Все оболочки имеют равномерное кровенаполнение. Ни у одной из экспериментальных групп не выявлено ulcerогенных признаков.

Подтверждением отсутствия местнораздражающего эффекта у исследуемого соединения служит здоровое состояние желудка и тонкого кишечника без атрофических и иных изменений (рисунок).



Морфологическая картина слизистой оболочки желудка крысы из группы с четырехкратной дозой субстанции DMAE 7–16

Заключение

При изучении субхронической (четырнадцатидневной) токсичности на самцах и самках крыс линии Wistar установлено, что субстанция DMAE 7–16 в однократной (0,01 г/кг в сутки) и четырехкратной (0,04 г/кг в сутки) дозах не оказывает выраженного общетоксического действия на организм лабораторных животных и не обладает местнораздражающим действием.

Результаты биохимического и гематологического исследования крови, показатели гравиметрического исследования, анализ макроскопического и микроскопического исследования внутренних органов крыс, получавших субстанцию DMAE 7–16 в однократной (0,01 г/кг в сут) и четырехкратной (0,04 г/кг в сут) дозах, показали, что данная субстанция не вызывает дистрофических, воспалительных и иных патологических изменений внутренних органов, а также не оказывает местнораздражающего действия в исследуемых дозах.

Исследование выполнено при поддержке программы «УМНИК», договор 15674ГУ/2020.

Список литературы

1. Peresyapkina A.A., Pokrovskiy M.V., Dolzhikov A.A., Levkova E.A., Pobeda A.S., Correction of experimental ischemic neuropathy of the optic nerve by imidazoline receptor agonist type I and II. *Экспериментальная и Клиническая Фармакология*. 2018. Vol. 81. No. 4. P. 12–17. DOI: 10.30906/0869-2092-2018-81-4-12-17.
2. Peresyapkina A.A., Pzhinskiy A.L., Pokrovskiy M.V., Beskhnelnitsyna E.A., Pobeda A.S., Korokin M.V. Correction of Experimental Retinal Ischemia by L-Isomer of Ethylmethylhydroxypyridine Malate. *Antioxidants*. 2019. Vol. 8. No. 2. P. 34. DOI: 10.3390/ANTIOX8020034.
3. Gubareva V.O., Pzhinsky A.L., Lugovskoy S.S., Dubovtsova E.Yu., Vain D.S., Pobeda A.S., Pasenov K.N. Pharmacological correction of morphofunctional retinal injury using 11-amino acid fragment of darbepoetin in the experiment. *Research Results in Pharmacology*. 2019. Vol. 5. No. 3. P. 43–55. DOI: 10.3897/rpharmacology.5.38730.
4. Shabelnikova A.S., Peresyapkina A.A., Pokrovskiy M.V., Lutsenko V.D., Philippenko N.G. Pharmacological preconditioning by recombinant erythropoietin – A new way of treatment of retinal Ischemia/Reperfusion. *International Journal of Pharmacy and Technology*. 2016. Vol. 8. No. 4. P. 26889–26896.
5. Peresyapkina A.A., Gubareva V.O., Levkova E.A., Shabelnikova A.S., Pokrovskiy M.V. Pharmacological correction of retinal ischemia/reperfusion by minoxidil. *Srpski Arhiv Za Celokupno Lekarstvo*. 2018. Vol. 146. No. 9–10. P. 530–533. DOI: 10.2298/SARH170814006P.
6. Lambuk Lidawani, Iezhitsa Igor, Agarwal Renu, Ismail Nafeeza Mohd. Magnesium acetyltaurate prevents retinal damage and visual impairment in rats through suppression of NMDA-induced upregulation of NF-kappa B, p53 and AP-1 (c-Jun/c-Fos). *Neural Regeneration Research* 2021. Vol. 16. No. 11. P. 2330–2344. DOI: 10.4103/1673-5374.310691.
7. Avdeeva N.V., Sidorova S.A., Gudyrev O.S., Osipova O.A., Golubev I.V. Mechanism of neuroprotective effect of mGluR4 agonists. *Research Results in Pharmacology*. 2019. Vol. 5. No. 2. P. 43–47. DOI: 10.3897/rpharmacology.5.36565.
8. Nesterova N.I., Scheblykina O.V., Kolesnichenko P.D., Nesterov A.V., Scheblykin D.V., Yakovlev D. Neuroprotective effects of taurine and 3-hydroxypyridine derivatives in the intracerebral hemorrhage model in rats. *Research Results in Pharmacology*. 2019. Vol. 5. No. 3. P. 87–94. DOI: 10.3897/rpharmacology.5.36988.
9. Пересыпкина А.А., Покровский М.В., Губарева В.О., Левкова Е.А. Коррекция гипертензивной нейрорегинопатии производным диметиламиноэтанола 7-16 в эксперименте // *Кубанский научный медицинский вестник*. 2018. № 25 (1). С. 103–107. DOI: 10.25207/1608-6228-2018-25-1-103-107.
10. Арустамова А.А., Покровский М.В., Шабельникова А.С., Кашуба А.С. Анализ российского оптового рынка глазных капель за 2006 – 1–3 кв. 2012 гг. // *Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова*. 2013. № 21 (4). С. 71–76. DOI: 10.17816/PAVLOVJ2013471-76.
11. Руководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств. Ч. 1 / Под ред. А.Н. Миронова. М.: Гриф и К, 2013. 944 с.

УДК 57.089

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ НЕЙРОФИЗИОЛОГИИ В ВОПРОСАХ ИЗУЧЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И НЕЙРОННЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ

Кириллова Г.А., Урунова Г.

ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»,
Архангельск, e-mail: g.kirillova@narfu.ru, urunova.g@edu.narfu.ru

Долгое время нейрофизиология была исключительно прикладной частью физиологии и ее развитие шло по пути экспериментальных наук. В конце XIX – начале XX вв. с появлением новых, не разрушающих мозговые структуры методов исследования, нейрофизиология заняла свое место и в нише теоретических наук. Возможности изучения электрических проявлений деятельности нервной системы в целом и мозга в частности дали простор для исследований и размышлений на тему сознания, памяти и восприятия. Значимость нейрофизиологии в современном мире трудно переоценить. Мозг человека – объект междисциплинарного исследования и изучается на разных уровнях: молекулярном, клеточном, на уровне объединения нейронов, на уровне систем. Электрофизиология, нейропсихология, нейробиология, нейроанатомия – все эти дисциплины тесно связаны с изучением функций нервной системы. Нейрофизиология является связующей дисциплиной и работает над теоретическими аспектами всей неврологии. Современная нейрофизиология изучает вопросы когнитивных функций головного мозга и такие высшие функции, как восприятие, память, абстрактное мышление, являются сегодня объектами пристального изучения в области кибернетики и искусственного интеллекта. Целью данной работы является изучение направлений современной нейрофизиологии и её историко-философские аспекты в создании систем искусственного интеллекта.

Ключевые слова: искусственный интеллект, нейрофизиология, анализ сигналов ЭЭГ, машинное обучение, моторно-корковые потенциалы, интерфейс мозг – компьютер

MODERN METHODS OF NEUROPHYSIOLOGY IN THE STUDY OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND NEURAL INTERFACES

Kirillova G.A., Urunova G.

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk,
e-mail: g.kirillova@narfu.ru, urunova.g@edu.narfu.ru

For a long time, neurophysiology was exclusively an applied part of physiology. Its development followed the path of experimental sciences. In the late XIX-early XX centuries, with the advent of new research methods that do not destroy brain structures, neurophysiology took its place in the niche of theoretical sciences. The possibilities of studying the electrical manifestations of the nervous system in general and in particular the brain gave scope for research and reflection on the topic of consciousness, memory, and perception. The importance of neurophysiology in the modern world is challenging to overestimate. A human brain is an object of interdisciplinary research. It is studied at different levels: molecular, cellular, and combining neurons and systems. Electrophysiology, neuropsychology, neurobiology, neuroanatomy – all these disciplines are closely related to the study of the functions of the nervous system. Neurophysiology is a connecting discipline and works on the theoretical aspects of all neurology. Modern neurophysiology studies the cognitive functions of the brain, and such higher functions as perception, memory, and abstract thinking are now objects of close study in the field of cybernetics and artificial intelligence. This work aims to study the trends of modern neurophysiology and its historical and philosophical aspects in the creation of artificial intelligence systems.

Keywords: artificial intelligence, neurophysiology, EEG signal analysis, machine learning, movement-related cortical potential, brain-computer interface (BCI)

Одним из знаковых вопросов в нейрофизиологии и философии остается отождествление сознания и процессов, протекающих в мозге. Человеческое сознание – достаточно многогранное понятие. Сегодня оно может быть воспринято с точки зрения разных научных подходов. В первую очередь вопросами изучения человеческого сознания занимаются такие науки, как философия, психология, психофизиология, медицина. Проблема изучения сознания возникла достаточно давно, и до сих пор ученые не пришли к единому мнению по этому вопросу.

Дэниэл Деннет, Пол Черчленд, Джесси Принц являются представителями современной философии сознания. Так, например, Д. Принц в центре своего научного поля зрения имеет различные интересы, в числе которых объяснение природы ментального опыта, эмоций, морального выбора. Эти аспекты изучаются в том числе и с помощью методов нейрофизиологии, таких как регистрация биоэлектрической активности мозга, магнитно-резонансная томография, исследования нервной проводимости. Д. Принц убежден, что возможности исследований в современной нейрофизио-

логии дают фундамент натуралистической теории, описывающей порождение сознания человеческим мозгом [1].

Современная научная точка зрения на взаимосвязь между сознанием и нервной активностью неоднозначна. С одной стороны, процесс по выявлению сознания с помощью нейробиологии построен на физикалистской идее о том, что сознание тождественно нейронной активности: известно, что мозг необходим для сознания, и нейробиология начала разгадывать нейронные механизмы, которые создают субъективный, сознательный опыт [2].

С другой стороны, ученые и философы часто предполагают, что наука может просто наблюдать корреляции между нейронной активностью и сознанием, но не сознанием как таковым. По этой причине нейробиологи ищут нейронный коррелят сознания (NCC), который был определен как минимальный набор нейронных процессов, которые вместе достаточны для определенного сознательного опыта.

Цель данной работы состоит в изучении направлений современной нейрофизиологии и её историко-философских аспектов в создании систем искусственного интеллекта, а также интерфейсов мозг – компьютер.

Материалы и методы исследования

Анализ современных представлений о биоэлектрической активности мозга, изучаемой с помощью различных методик электроэнцефалографии. Изучение отечественных и зарубежных исследований, внесших весомый вклад в исследования сознания человека, разработку нейронных интерфейсов и создание систем искусственного интеллекта.

Результаты исследования и их обсуждение

Пытаясь объяснить, что должно происходить в головном мозге, чтобы визуальная информация перешагнула порог сознания, нейробиология исследует причинно-следственную цепочку событий, которые к этому приводят. Например, нейронные процессы, которые предшествуют предъявлению стимула, помогают предсказать, воспринимается ли стимул сознательно, это может означать, что предстимульная активность коррелирует с последующим сознательным восприятием [3].

Решения в естественнонаучном мире редко принимаются изолированно. Каждое действие, которое выбирает организм, повлияет на будущие ситуации, в которых он окажется, и эти ситуации, в свою очередь, повлияют на будущие доступные дей-

ствия. Достижение реальных целей часто требует успешного выполнения последовательности многих действий. Эффективный и гибкий способ достижения таких целей – построить внутреннюю модель среды и использовать ее для планирования поведения на несколько этапов в будущем. Этот процесс известен как многоэтапное планирование, и его нейронные механизмы только начинают понимать.

Недавние достижения в понимании этих механизмов, многие из которых используют преимущества многоэтапных задач принятия решений для людей и животных, описаны в научных трудах К.Дж. Миллера [4]. В последние годы наблюдается резкий прогресс в понимании нейронных механизмов многоэтапного планирования. Этот прогресс во многом стал возможен благодаря разработке около десяти лет назад разнообразных многоэтапных задач принятий решений людьми.

Работа над нейронными механизмами планирования основывается на обширной работе по изучению когнитивных способностей, от которых может зависеть планирование. Одна из них – способность связывать стимулы или действия с конкретными ожидаемыми результатами. Поведение, управляемое такими связями, ориентированными на результат, можно рассматривать как упражнение в простой одноэтапной форме планирования. Исследователи разработали несколько выборочных анализов этой способности и широко использовали их для идентификации и характеристики нейронных структур, которые поддерживают ассоциации, зависящие от результата [4, 5].

Многоэтапное планирование требует способности связывать воедино последовательности ассоциаций действие – результат, чтобы направлять несколько шагов поведения к потенциально отдаленной цели. Современные вычислительные методы планирования формализуют эту идею с помощью внутренней модели «функция перехода» и «функция вознаграждения» [4].

В мире технологическая и промышленная революция ускоряется благодаря широкому применению информационных и коммуникационных технологий нового поколения, таких как искусственный интеллект. Он использует компьютеры для моделирования разумного поведения человека и обучает компьютеры изучать такие человеческие черты, как обучение, суждение и принятие решений. Машинное обучение позволяет компьютерам автоматически изучать и анализировать большие данные, а затем принимать решения и предсказывать события в реальном мире. Помимо

применения алгоритмов, относящихся к искусственному интеллекту, в области распознавания образов, результаты были достигнуты и в других областях, среди которых распознавание речи, поисковые системы, семантический анализ и системы принятия решений [5].

С 2015 г. широко используются методы обработки изображений, использующие глубокое обучение для классификации. Нейронная сеть встроена через нейроны, а модель имеет нелинейную функцию подгонки через функцию активации. Цель компьютерного зрения – дать возможность компьютерам распознавать и понимать мир через зрение, как это делают люди. В основном оно использует алгоритмы для идентификации и анализа изображений. Наиболее широко используемыми компьютерными зрительными образами являются распознавание лиц и изображений [6].

Успехи в нейрофизиологии, теории принятия решений и анализа сенсорной информации позволяют ученым создавать роботизированные системы, наделенные искусственным интеллектом. Это стало возможным благодаря тому объему знаний о когнитивных способностях человека, работе нервной системы, которые получены нейрофизиологическими методами [7–9].

Для этой цели одной из технологий, которая оказалась подходящей, является электроэнцефалография (ЭЭГ), которая регистрирует текущую электрическую активность мозга. ЭЭГ широко использовалась в исследованиях визуального и аудиовосприятия а в последнее время также для оценки воспринимаемого пользователем качества мультимедиа. Предполагается, что у людей есть внутренний порог, который заставляет их решать на когнитивном уровне, заметили они искажение или нет [7]. Крайне важно более глубоко изучить взаимосвязь между реакцией ЭЭГ и поведенческой реакцией на пороге восприятия, чтобы предотвратить внедрение методов кодирования видео, которые могли бы привести к искажениям, потенциально воспринимаемым наиболее чувствительными людьми, а также для создания роботизированных систем, способных идентифицировать эмоции, оценивать популярность мультимедийного цифрового контента. Последнее играет важную роль в медиаиндустрии, где рейтинги используются для сравнения различных видео и, соответственно, предлагают видеоконтент с лучшим рейтингом для перспективных зрителей [8]. В будущем может быть создана модель анализа эмоций для автоматической маркировки видео вместе с системой прогнозирования их рейтинга.

Результаты показывают, что статистические характеристики сигналов ЭЭГ во временной области позволяют эффективно различать различные эмоциональные состояния. Кроме того, использование трехмерной модели эмоций позволяет классифицировать аналогичные эмоции, которые не были правильно классифицированы двумерной моделью (например, гнев и страх). Результаты этого исследования могут быть использованы для разработки систем распознавания эмоций на основе ЭЭГ в реальном времени [9].

Поколение роботов на сегодняшний день – интеллектуальные роботы. Этот робот обладает интеллектом, подобным человеческому, и оснащен высокочувствительными датчиками. Его сенсорные способности превосходят таковые у обычных людей. Робот может анализировать информацию, которую он воспринимает, контролировать свое поведение, реагировать на изменения в окружающей среде и выполнять сложные задачи. Однако до сих пор остается неясным, может ли робот наравне с человеком испытывать эмоции, насколько это достижимо на данном этапе развития области кибернетики [10].

В последние годы в исследовании искусственного интеллекта возобновился интерес к метаобучению, или обучению обучению. Однако метаобучение невероятно широко распространено в природе, имеет глубокие корни в когнитивной науке и психологии и в настоящее время изучается в различных формах в рамках нейробиологии. В когнитивной науке иерархические байесовские модели познания отражают, как обучение может происходить на разных уровнях и посредством приобретения полезных, структурированных априорных факторов. Хотя в психологических и когнитивных науках существует надежная история метаобучения, связи между метаобучением и нейробиологией относительно новы. Некоторые направления исследований в нейробиологии, широко связанные с метаобучением, связаны с изучением контроля над существующими представлениями. В частности, ментальные схемы описываются как структурированные мыслительные представления, которые позволяют ускорить обучение, помогая в поиске существующих знаний и интеграции новых знаний [9, 10].

Еще одно актуальное направление исследований – это исследование иерархической репрезентации и когнитивного контроля (способность выполнять релевантную для задачи обработку без внешней поддержки или перед лицом отвлекающих факторов). Некоторые исследователи пред-

полагают иерархическую организацию префронтальной коры по всей длине. Такая иерархически структурированная организация наводит на мысль о масштабной природе систем метаобучения. В этой области менее изучено, как возникают такие иерархические представления. Чтобы изучить это, полезно обратиться к нейробиологии развития, которая показывает, что младенцы могут изучать скрытую структуру для выстраивания иерархии правил и извлечения статистической закономерности из речи. Взрослые люди также изучают новую структуру и имеют склонность к структурному обучению, даже когда это не является строго необходимым, поскольку такая структура обеспечивает более быстрое обучение и обобщение в еще неизвестных ситуациях [10].

Нейронные корреляты целенаправленных действий и их отличия от движений, которые не приводят к взаимодействию с определенной целью (например, с объектом или визуальной целью на экране), в последние годы в основном изучаются в задачах наблюдения за движением. [11]. Эти исследования привели к пониманию действия как результата когнитивного процесса. Некоторые из последних результатов в этой области могут представлять интерес для исследований интерфейса мозг – компьютер (BCI), поскольку целенаправленные движения имеют первостепенное значение для нейронных интерфейсов, которые основаны на обнаружении и расшифровке движений. BCI можно использовать для управления такими устройствами, как функциональные нейропротезы на основе электрической стимуляции, способные восстановить функцию кисти и локтя у пациентов с тетраплегией с помощью мыслей [12].

Современные неинвазивные нейронные интерфейсы используют ЭЭГ для использования сенсомоторных ритмов, связанных с воображением движений [13]. Несмотря на разработки последних нескольких лет, нейронные интерфейсы на основе сенсомоторных ритмов по-прежнему не имеют естественного и интуитивно понятного управления по двум основным причинам. Во-первых, они полагаются исключительно на обнаружение конечности (обычно обеих стоп, правой руки, левой руки), подвергаемой воображению движения, что приводит к небольшому количеству классов. Ограниченное количество классов не позволяет осуществлять естественный контроль, поскольку может случиться так, что повторяющееся воображаемое движение стопы будет связано с конкретным движением нейропротеза, например с командой раскрытия руки. Это не может воспроизвести естественный

способ планирования движения. Во-вторых, задержка между обнаружением намерения движения и фактическим намерением пользователя составляет порядка секунд, что недостаточно для применения принципа Хебба [13]. Сокращение временного разрыва между намерением пользователя и обеспечиваемой обратной связью (например, электростимуляция; управление роботизированными устройствами) имеет основополагающее значение не только для быстрого и естественного контроля движений, но и потому, что оно может способствовать восстановлению моторики на корковом уровне, стимулируя нейропластичность [14].

Чтобы преодолеть эти ограничения, нейронный интерфейс должен уметь расшифровывать способ планирования и выполнения действия, обеспечивая своевременную и точную обратную связь о намерениях пользователя. Это было бы возможно, если бы интерфейс мог декодировать как цель предполагаемого действия, так и характеристики движения (например, скорость, силу). В идеале декодирование на целевом уровне – описание краткосрочных целей, необходимых для достижения определенного действия, – и на кинематическом уровне – описание кинематики руки (в пространстве и времени) — должно быть объединено для достижения оптимального и интуитивного управления. Эта двухуровневая стратегия была предложена Графтоном и Гамильтоном и описывает механизм целенаправленных действий, которые имеют большое значение для управления нейронными интерфейсами (интерфейсы мозг – компьютер), поскольку предполагают взаимодействие с мишенями [15].

Кроме того, в качестве альтернативы модуляциям мощности в различных частотных диапазонах, используемых в нейроинтерфейсах на основе сенсомоторных ритмов, можно использовать амплитудные модуляции во временной области в дельта-диапазоне. Эти медленные колебания, когда они связаны с двигательной задачей, известны как моторные корковые потенциалы и представляют собой нейронные корреляты ЭЭГ планирования и выполнения движения, которые использовались для обнаружения движения [14]. Моторные корковые потенциалы (МКП) могут обеспечивать многогранный и богатый сигнал управления двигателем по двум основным причинам. Во-первых, было показано, что обнаружение намерения движения с помощью МКП имеет относительно короткие задержки, что сокращает время между фактическим намерением и ответом системы. Во-вторых, известно, что для движений верхних

конечностей величина и наклон МКП модулируются параметрами, связанными с движением, такими как скорость и сила, а также позволяет различать направления движения и траектории, типы захвата или другие движения верхней конечности. Поскольку МКП отражают корковые процессы, используемые при планировании движения, и, как известно, модулируются несколькими параметрами, связанными с движением, интересно изучить, отражается ли также наличие конкретной цели движения в этом нейронном корреляте. Если наличие цели действительно отражено в МКП, то можно задаться вопросом, какое влияние эта информация оказывает на обнаружение движения для управления нейронным интерфейсом [14].

Заключение

В контексте современной нейрофизиологии вопросы изучения интерфейсов мозг – компьютер и систем искусственного интеллекта особенно актуальны. Незаменимым средством в исследованиях нейробиологов остается электроэнцефалография. Методы на ее основе позволяют изучать нейронные процессы с различных сторон и получать массивы данных, необходимые для создания нейронных интерфейсов и обучения искусственного интеллекта. Остается еще большой простор для исследований и поиска новых вариантов обработки и использования данных биоэлектрической активности мозга человека, чтобы совершенствовать и создавать новые высокотехнологические системы.

Список литературы

1. Ананина М.О. Теория сознания Джесси Принца: философский анализ // Вестник Московского университета. Серия 7. Философия. 2015. № 6. С. 96–105.

2. Carter O. Conscious machines: Defining questions. *Science*. 2018. Vol. 359. No. 359. P. 400.

3. Jylkka J., Railo H. Consciousness as a concrete physical phenomenon. *Consciousness and Cognition*. 2019. Vol. 74. P. 4–12.

4. Miller K.J. Multi-step planning in the brain. *Current Opinion in Behavioral Sciences*. 2021. Vol. 38. P. 29–39.

5. Balleine B.W. The Meaning of Behavior: Discriminating Reflex and Volition in the Brain. *Neuron*. 2019. Vol. 104. No. 1. P. 47–62.

6. Wang J.X. Meta-learning in natural and artificial intelligence. *Current Opinion in Behavioral Sciences*. 2021. Vol. 38. P. 90–95.

7. Acqualagna L., Bosse S., Porbadnigk A.K., Curio G., Müller K.-R., Wiegand T., Blankertz B. EEG-based classification of video quality perception using steady state visual evoked potentials (SSVEPs). *Journal of Neural Engineering*. 2015. Vol. 12. P. 1–14.

8. Gaubaa P., Kumara P., Pratim R. Prediction of advertisement preference by fusing EEG response and sentiment analysis. *Neural Networks*. 2017. Vol. 92. P. 77–88.

9. Nawaz R., Cheah H., Nisar V., Yap V. Comparison of different feature extraction methods for EEG-based emotion recognition. *Biocybernetics and Biomedical Engineering*. 2020. Vol. 40. P. 910–926.

10. Бахтеев Д.В. Предпосылки становления и этапы развития технологии искусственного интеллекта // *Genesis: исторические исследования*. 2019. № 8. С. 89–97.

11. Rizzolatti G., Cattaneo L., Fabbri-Destro M., Rozzi S. Cortical mechanisms underlying the organization of goal-directed actions and mirror neuron-based action understanding. *Physiological Reviews*. 2014. Vol. 94. No. 2. P. 655–706.

12. Rupp R., Rohm M., Schneiders M., Kreiling A., Müller-Putz G.R. Functional rehabilitation of the paralyzed upper extremity after spinal cord injury by noninvasive hybrid neuroprostheses. *Proceedings of the IEEE*. 2015. Vol. 103. No. 6. P. 954–968.

13. Müller-Putz G.R., Schwarz A., Pereira J., Ofner P. From classic motor imagery to complex movement intention decoding: The noninvasive Graz-BCI approach. *Progress in brain research*. 2016. Vol. 228. P. 39–70.

14. Pereira J., Ofner P., Schwarz A. EEG neural correlates of goal-directed movement intention. *NeuroImage*. 2017. Vol. 149. P. 129–140.

15. Grafton S.T., Hamilton A.F. C. Evidence for a distributed hierarchy of action representation in the brain. *Human movement science*. 2007. Vol. 26. No. 4. P. 590–616.

УДК 579.64

ВЫДЕЛЕНИЕ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ РИЗОБИЙ, ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДЛЯ СОЗДАНИЯ БИОУДОБРЕНИЯ ДЛЯ КУЛЬТУРЫ СОИ (*GLYCINE MAX* (L.) MERR.)

Смирнова И.Э., Баймаханова Г.Б., Файзулина Э.Р., Даугалиева С.Т., Татаркина Л.Г.

ТОО «Научно-производственный центр микробиологии и вирусологии», Алматы,
e-mail: iesmirnova@mail.ru

Одной из основных проблем аграрного сектора многих стран является дефицит белка в питании людей и недостаточность кормовой базы для животноводства. Для решения этих проблем необходимо увеличение производства высокобелковых бобовых культур и, прежде всего, сои (*Glycine max* (L.) Merr.). Для повышения урожайности сои применяются биологические удобрения, в состав которых входят ризобии или клубеньковые азотфиксирующие бактерии. Целью данного исследования было выделение клубеньковых бактерий, получение чистых культур, изучение их основных культуральных и биохимических свойств, отбор наиболее эффективных штаммов для создания биоудобрения для культуры сои и их идентификация молекулярно-генетическим методом (метод секвенирования 16S rRNA гена с универсальными праймерами). Из клубеньков растений сои, собранных на полях Алматинской области Казахстана, проведено выделение ризобий и получено 24 чистых культур бактерий. Изучены их основные культурально-морфологические и биохимические свойства. Проведено исследование нодулирующей и азотфиксирующей способности ризобий и отобрано четыре наиболее эффективных штамма. Проведена идентификация этих штаммов молекулярно-генетическим методом. Установлено, что штаммы относятся к двум родам *Rhizobium* и *Bradyrhizobium*, к видам *Rhizobium lupini* и *Bradyrhizobium japonicum*. Таким образом, отобрано четыре высокоэффективных штамма ризобий, перспективных для создания биоудобрения для культуры сои и определено их таксономическое положение.

Ключевые слова: ризобии (клубеньковые бактерии), клубеньки, нодуляция, азотфиксация, соя, идентификация, высокоэффективные штаммы

ISOLATION AND IDENTIFICATION OF RHIZOBIA PROMISING FOR CREATING A BIOFERTILIZER FOR SOYBEAN

Smirnova I.E., Baymakhanova G.B., Fayzulina E.R., Daugalieva S.T., Tatarkina L.G.

LLC Research and Production Center for Microbiology and Virology, Almaty,
e-mail: iesmirnova@mail.ru

One of the main problems of the agricultural sector in many countries is the lack of protein in human nutrition and the lack of fodder for livestock. To solve these problems, it is necessary to increase the production of high-protein legumes and, above all, soybeans (*Glycine max* (L.) Merr.). To increase the yield of soybeans, biological fertilizers are used, which include rhizobia or symbiotic nitrogen-fixing bacteria. The purpose of this study was to isolate rhizobia, obtain pure cultures, study their main cultural and biochemical properties, select the most effective strains for creating a biofertilizer for soybean, and identify them by molecular genetic method (16S rRNA gene sequencing method with universal primers). The isolation of rhizobia from nodules of soybean plants collected in the fields of the Almaty region of Kazakhstan was carried out, and 24 pure cultures of bacteria were obtained. Their main cultural-morphological and biochemical properties have been studied. The nodulation and nitrogen-fixing ability of rhizobia was studied and the four most effective strains were selected. These strains were identified by molecular genetic method. It has been established that the strains belong to two genera *Rhizobium* and *Bradyrhizobium*, to the species *Rhizobium lupini* and *Bradyrhizobium japonicum*. Thus, four highly effective strains of nodule bacteria were selected, promising for the creation of biofertilizers for soybean and found their taxonomic position.

Keywords: rhizobia, nodules, nodulation, nitrogen fixation, soybean, identification, highly effective strains

Одной из основных проблем аграрного сектора многих стран является дефицит белка в питании людей и недостаточность кормовой базы для животноводства. Для решения этих проблем необходимо увеличение производства высокобелковых зернобобовых культур и, прежде всего, сои [1]. В мировом масштабе соя по важности сопоставима с пшеницей, рисом и кукурузой. Высокое содержание в зерне сои полноценного белка (до 45–48%) и высококачественного масла (до 25%) определяют её широкое применение [2]. Из сои производятся

многие продукты питания. Мука из зерна сои используется в хлебопечении, кондитерской промышленности, в качестве наполнителя при производстве колбас и других мясных изделий. Соевое масло, соевое молоко, тофу употребляются в пищу непосредственно, так и для приготовления большого количества продуктов и блюд [3]. Зерно сои имеет большое значение для кормопроизводства. Ценность белка соевого шрота составляет 43 единицы, в то время как ценность белка пшеницы и кукурузы только 5 условных единиц [4]. Однако уро-

жайность сои в России и Казахстане по сравнению с другими странами низкая. Так, если средняя урожайность сои в Бразилии и США составляет 3,3 т/га, в Канаде – 2,6 т/га, то в России – 1,4–1,6 т/г, а в Казахстане – не превышает 1,1–1,2 т/га [5]. При этом зерно сои характеризуется низкими показателями качества. Исходя из этого, поиск путей повышения урожайности этой культуры является весьма актуальным.

Для повышения урожайности сои применяются минеральные и биологические удобрения, но упор делается на биоудобрения. В состав биологических удобрений, как правило, входят ризобии, или симбиотические азотфиксирующие бактерии. Эти бактерии обитают в клубеньках на корнях сои, способны извлекать азот из воздуха и преобразуют его в форму, которую могут использовать растения.

Одной из проблем низкой урожайности сои в Казахстане является то, что для повышения урожайности сои применяют в основном биопрепараты импортного происхождения, которые часто оказываются малоэффективными. Это обусловлено их низкой приживаемостью на корнях сои и неприспособленностью к почвенным и климатическим условиям.

Целью данного исследования было выделение ризобий, получение чистых культур, изучение их основных культурально-морфологических и физиолого-биохимических свойств, отбор наиболее эффективных штаммов для создания биоудобрения для культуры сои и их идентификация молекулярно-генетическим методом.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования служили бактерии, выделенные и клубеньков на корнях растений сои (*Glycine max* (L.) Merr.), собранных в Алматинской области Казахстана – основном регионе выращивания сои. Для выделения ризобий были отобраны здоровые и мощные растения сои с хорошо развитой корневой системой и многочисленными клубеньками на корнях. От корня пинцетом отделяли крупные розовые клубеньки и переносили в чашку Петри, где их разрезали скальпелем на части. Для выделения клубеньковых бактерий использовали питательную среду Мазе, следующего состава, г/л: K_2HPO_4 – 1,0; $MgSO_4$ – 0,3; сахара – 10,0; отвар из 100 г гороха, pH 6,8–7,0. Небольшое количество содержимого клубенька переносили в 100 мкл стерильной воды, затем на поверхность агаризованной среды Мазе в чашке Петри, размазывали шпателем и инкубировали при 25 °С.

Для изучения способности образовывать клубеньки на корнях сои (нодуляции) ризобии выращивали на жидкой среде Мазе при 180 об/мин, 28 °С в течение 5 суток. В опытах использовали сою сорта «Эврика». Семена сои стерилизовали гипохлоритом натрия [6]. Перед посевом семена инокулировали суспензией бактерий с титром клеток 1×10^8 кл/мл в течение двух часов при комнатной температуре. Затем высевали в вегетационные сосуды объемом 500 мл (три растения на сосуд). В качестве субстрата для роста растений использовали стерильный вермикулит, для питания проростков применяли стерильный раствор Кноппа, следующего состава, г/л: $Ca(NO_3)_2 \times 4H_2O$ – 1,0, $MgSO_4 \times 7H_2O$ – 0,25, KH_2PO_4 – 0,25, KCl – 0,12, $FeCl_3 \times 6 H_2O$ – 0,004, вода – 1000 мл. Все эксперименты были выполнены в пяти повторностях. Подсчет количества и средней массы клубеньков проводили после 30 дней выращивания.

Нитрогеназную активность ризобий определяли ацетиленовым методом [7]. Для этого исследуемые бактерии выращивали на среде Эшби в условиях азрации до концентрации 10^8 кл/мл. Ацетилен вводили в сосуды с культурами до концентрации 10% (по объему). После инкубации культур в течение 1,5 ч в атмосфере ацетилена пробы газа отбирали шприцем по 1 мл из сосуда и определяли наличие этилена на газовом хроматографе “Agilent Technology 7890 B” (США) с пламенно-ионизационным детектором [8].

Культурально-морфологические и физиолого-биохимические свойства ризобий изучали по стандартным методикам [9].

Идентификацию ризобий проводили методом секвенирования 16S rRNA гена с универсальными праймерами [10]. Геномную ДНК выделяли из суточной культуры бактерий с помощью набора PureLink® Genomic DNA Kits (Invitrogen, США). Реакционная смесь для амплификации состояла из 12,5 мкл Q5® Hot Start High-Fidelity 2X Master Mix, 1,25 мкл каждого праймера (10 мкМ), 1,5 мкл ДНК и 8,5 мкл стерильной воды для молекулярных исследований. ПЦР-амплификацию проводили в термоциклере Eppendorf Pro S (Eppendorf, Гамбург, Германия, 2012) в режиме: 98 °С – 30 с; 55 °С – 1 мин; 72 °С – 40 с – всего 30 циклов; 72 °С – 10 мин. Результаты амплификации анализировали в 1,2% агарозном геле. Капиллярный форе́з проводили на автоматическом секвенаторе 3500 DNA Analyzer (Applied Biosystems, США) с использованием набора Big Dye Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit (Applied Biosystems, США)

согласно протоколу. Поиск гомологичных нуклеотидных последовательностей осуществляли в программе BLAST (Basic Local Alignment Search Tool) Международной базы данных Gene Bank NCBI, США [11]. Филогенетический анализ проводили с использованием программного обеспечения MEGA6. Для построения филогенетических деревьев использовали метод «объединения соседей» NJ (Neighbor-Joining).

Статистическая обработка результатов проводилась с использованием пакета программ «STATISTICA 10.0» [12].

Результаты исследования и их обсуждение

Выделение ризобий проводили из клубеньков на корнях сои, собранных на полях Алматинской области Казахстана. Для выделения ризобий были отобраны здоровые и мощные растения с хорошо развитой корневой системой и большим числом клубеньков на корнях. В общей сложности было собрано 67 растений сои. В лабораторных условиях из клубеньков на корнях сои было проведено выделение ризобий на питательной агаризованной среде Мазе. Засеянные чашки Петри инкубировали в термостате при 25 °С. Появление колоний на 1–2-е сутки свидетельствовало о загрязнении культуры. Быстрорастущие ризобии появлялись на 3–4, медленно растущие – на 7–9 сутки (рис. 1).

Чистоту культур клубеньковых бактерий проверяли визуально и под микроскопом. Микроскопический контроль проводился с препаратами живых и фиксированных окрашенных клеток с помощью светового микроскопа. В результате проведенной работы было выделено 24 чистые культуры клубеньковых бактерий.

Исследование культурально-морфологических свойств бактерий показало, что при росте на среде Мазе бактерии образовывали бесцветные или молочно-белые слизистые колонии. Исследование морфологии ризобий показало, что все выделенные культуры были грамтрицательные, не образовывали спор и имели палочковидную форму клеток. При просмотре под микроскопом препаратов живых клеток бактерий отмечали их высокую подвижность. Установлено, что клетки бактерий были мелкими, полиморфными и с течением времени клетки принимали округлую форму. На фиксированных окрашенных препаратах четко просматривалась зернистость внутреннего содержания клеток клубеньковых бактерий.

Исследование основных физиолого-биохимических свойств бактерий показало, что выделенные бактерии относятся к аэробам, не растут на мясопептонных средах и других белковых субстратах животного происхождения, рост на безазотистой среде Эшби слабый. Установлено, что штаммы бактерий слабо утилизируют сахара, желатину не разжижают и крахмал не разлагают. По основным культурально-морфологическим и биохимическим свойствам бактерии были отнесены к двум родам – *Bradyrhizobium* и *Rhizobium*.

Известно, что не все клубеньковые бактерии способны образовывать клубеньки на корнях растений сои. В этой связи было проведено изучение способности выделенных бактерий к нодуляции и фиксации азота воздуха. Наличие этих свойств у бактерий является основанием для их дальнейшего использования при разработке биоудобрения для культуры сои. В таблице представлены результаты семи штаммов, показавших наиболее высокие результаты.

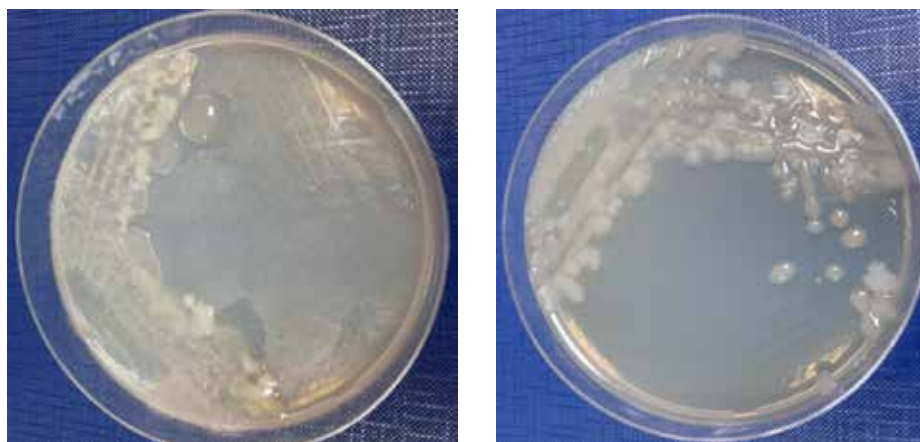


Рис. 1. Колонии ризобий на агаризованной среде Мазе

Нодулирующая способность и нитрогеназная активность штаммов ризобий

Штаммы	Количество клубеньков на растении, шт.	Сухой вес клубеньков, мг/растение	Нитрогеназная активность, $\mu\text{моль } \text{C}_2\text{H}_4/\text{мл/ч}$
Контроль	0	0	–
МА-1	12,8±0,1	128,3±1,3	3,87±0,02
Н-2	14,6±0,2	130,2±1,2	2,32±0,01
Н-3	12,1±0,1	142,2±1,0	5,25±0,02
Н-4	17,8±0,2	147,5±1,2	6,65±0,01
Н-6	18,2±0,2	153,2±2,2	6,71±0,01
Н-7	18,4±0,1	158,5±2,1	6,74±0,01
Н-8	17,3±0,1	148,4±2,0	6,34±0,02

Примечание. $p < 0,01$

Из данных таблицы следует, что штаммы ризобий активно образовывали клубеньки на корнях сои и фиксировали азот воздуха. Отмечено, что во всех вариантах опыта клубеньки были розовыми, что свидетельствует об активной фиксации азота атмосферы, так как розовый цвет клубеньков свидетельствует о присутствии леггемоглобина, который контролирует поток кислорода к бактериям. Также показано, что по истечении 30 суток роста сои, в вариантах со штаммами МА-1, Н-2, Н-3 количество клубеньков на одно растение составляло 12–14 штук, а в вариантах со штаммами Н-4, Н-6, Н-7, Н-8 оно было большим и в среднем составляло 17–18 штук на растение. Отмечено, что в этих вариантах клубеньки были более крупными и темно-розовыми, и появление клубеньков в этих вариантах было на 12,5% раньше, чем в вариантах со штаммами МА-1, Н-2, Н-3. Также установлено, что азотфиксирующая активность менялась в зависимости от штамма бактерий. Показано, что азотфиксирующая активность штаммов Н-4, Н-6, Н-7, Н-8 была выше, чем у штаммов МА-1, Н-2, Н-3 (таблица).

Идентификацию ризобий проводили молекулярно-генетическим методом Сенгера, путем секвенирования 16S rRNA гена. Геномную ДНК выделяли из суточной культуры бактерий и на основе изучения последовательности участка гена 16S rRNA с универсальными праймерами осуществляли идентификацию бактерий. Для ризобий был проведен филогенетический анализ путем сравнения нуклеотидной последовательности штамма с последовательностями 16S rRNA штаммов родственных бактерий из базы данных NCBI. В программе MEGA 6.0 были построены филогенетические деревья с использованием Neighbor-Joining кластерного метода расчета генетических расстояний.

На рис. 2 представлены дендрограммы штаммов ризобий Н-4, Н-6, Н-7 и Н-8.

Из рис. 2 следует, что в филогенетическом отношении штаммы Н-4, Н-6, Н-7 наиболее близки со штаммом NR 044869.2 *Rhizobium lupini* strain DSM 30140, а штамм Н-8 находится на одной ветви с референсным штаммом из базы данных NCBI NR 036865.1 *Bradyrhizobium japonicum* strain 3I1b6.

Сравнение нуклеотидных последовательностей гена 16S rRNA со штаммами из базы данных NCBI показало степень гомологии на 99–100%.

Заключение

В этом исследовании проведено выделение ризобий из клубеньков растений сои, собранных на полях Алматинской области Казахстана. Для выделения ризобий было отобрано 67 здоровых и мощных растений сои с хорошо развитой корневой системой и большим числом клубеньков на корнях. В лабораторных условиях из клубеньков сои на среде Мазе были выделены бактерии, проведена их очистка и получены 24 чистые культуры ризобий. Изучены их основные культурально-морфологические и биохимические свойства и показано, что бактерии относятся к двум родам *Bradyrhizobium* и *Rhizobium*. Проведено исследование способности штаммов ризобий образовывать клубеньки на корнях сои и изучена их азотфиксирующая активность. По результатам исследований отобрано четыре наиболее активных штамма бактерий (Н-4, Н-6, Н-7 и Н-8). Установлено, что в вариантах опытов с этими штаммами, клубеньки на корнях сои были более крупными и темно-розовыми, что свидетельствует о высоком содержании леггемоглобина, который контролирует приток кислорода к бактериям.

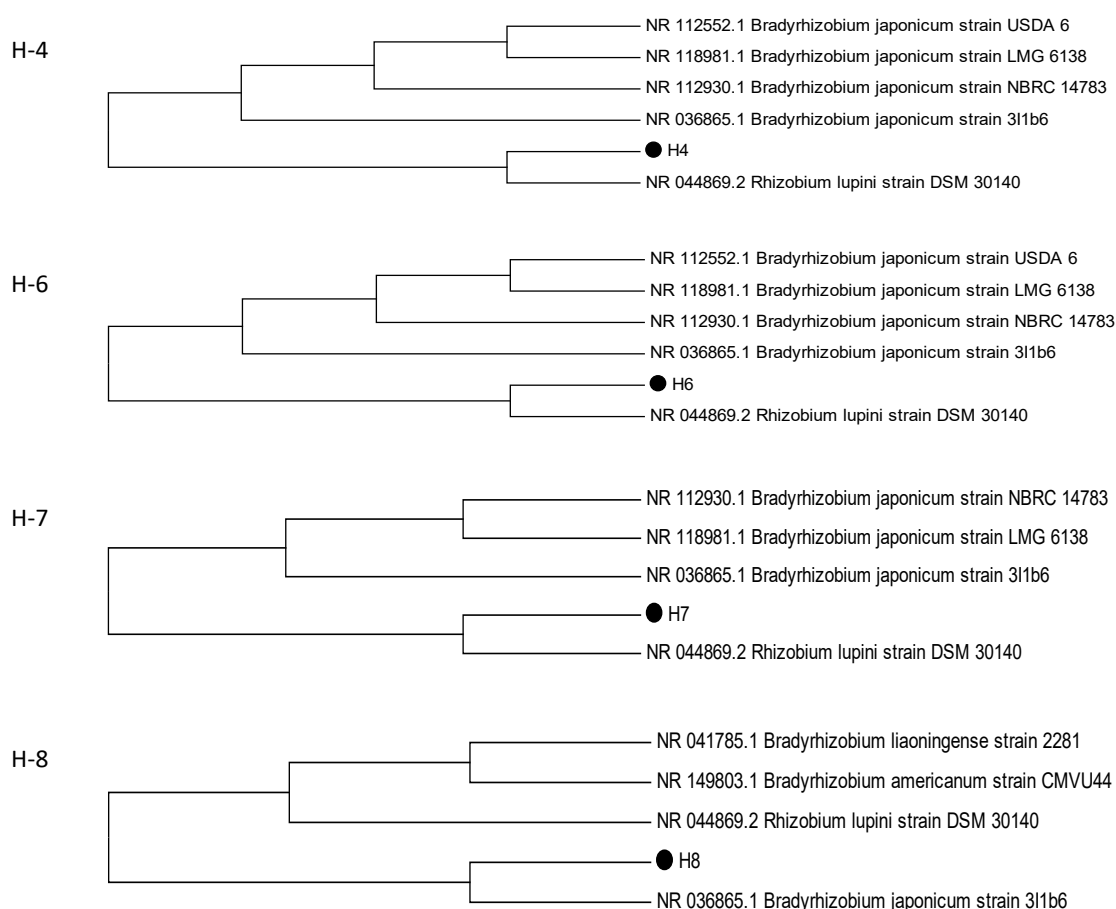


Рис. 2. Филогенетические деревья ризобий (штаммы H-4, H-6, H-7 и H-8)

Также отмечено, что появление клубеньков на корнях сои в этих вариантах было на 12,5% раньше, чем в других вариантах. Проведена идентификация отобранных штаммов молекулярно-генетическим методом. Идентификацию ризобий проводили методом Сенгера, путем секвенирования 16S rRNA гена. Установлено, что штаммы относятся к двум родам *Rhizobium* и *Bradyrhizobium*, к видам *Rhizobium lupini* (H-4, H-6, H-7) и *Bradyrhizobium japonicum* (H-8). Таким образом, отобраны четыре высокоэффективных штамма ризобий, перспективных для создания биоудобрения для культуры сои и установлено их таксономическое положение.

Применение биоудобрения, созданного на основе этих штаммов, будет весьма перспективным, так как штаммы, входящие в состав биоудобрения, адаптированы к почвенным и климатическим условиям юго-восточного региона Казахстана, и их использование позволит избежать конкуренции с почвенной микрофлорой. Также

отобранные штаммы обладают высокой приживаемостью на корнях местных сортов сои. Использование биоудобрения на практике будет соответствовать требованиям охраны окружающей среды, поскольку ризобии являются естественными представителями почвенной микрофлоры, что обеспечит получение экологически чистой продукции и позволит увеличивать прибыль сельхозпредприятий за счет повышения урожайности сои.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства образования и науки Республики Казахстан в рамках грантового проекта AP09259080.

Список литературы

1. Gaweda D., Nowak A., Haliniarz M., Woźniak A. Yield and economic effectiveness of soybean grown under different cropping systems. *International Journal of Plant Production*. 2020. Vol. 14. P. 475–485. DOI: 10.1007/s42106-020-00098-1.
2. Wijewardana C., Reddy K.R., Bellaloui N. Soybean seed physiology, quality, and chemical composition under soil moisture stress. *Food Chemistry*. 2019. Vol. 278. P. 92–100. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.11.035.

3. Guan X., Zhong X., Lu Y., Du X., Jia R., Li H., Zhang M. Changes of soybean protein during tofu processing. *Foods*. 2021. Vol. 10. P. 1594. DOI: 10.3390/FOODS10071594.
4. de Waroux Y.P., Garrett R.D., Graesser J., Nolte C., White C, Lambinad E.F. The restructuring of South American soy and beef production and trade under changing environmental regulations. *World Development*. 2019. Vol. 121. P. 188–202. DOI:10.1016/j.worlddev.2017.05.034.
5. Global Market Analysis, FAS, USDA. *World Agricultural Production*. Washington: FAS, 2021. 42 p. <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production>.
6. Ying L., Xiaopeng L., Xiaohao L., Kaizhe L., Gangshun R., Yingbin X. Optimization of aseptic germination system of seeds in soybean (*Glycine max* L.). *Journal of Physics*. 2020. ID 1637. e012077. DOI: 10.1088/1742-6596/1637/1/012077.
7. Das S., De T.K. Microbial assay of N₂ fixation rate, a simple alternate for acetylene reduction assay. *Methods X*. 2018. Vol. 5. P. 909–914. DOI: 10.1016/j.mex.2017.11.010.
8. Kaushal M., Kaushal R. Acetylene reductase activity and molecular characterization of plant growth promoting rhizobacteria to know efficacy in integrated nutrient management system. *Indian Journal of Biotechnology*. 2015. Vol. 14. P. 221–227.
9. Ившина И.Б. Большой практикум «Микробиология». СПб.: Проспект Науки, 2019. 112 с.
10. Zhang R.Y., Zou B., Yan Y.W., Jeon C.O., Li M., Cai Mi., Quan Zh-X. Design of targeted primers based on 16S rRNA sequences in meta-transcriptomic datasets and identification of a novel taxonomic group in the Asgard archaea. *BMC Microbiology*. 2020. Vol. 20 (25). DOI: 10.1186/s12866-020-1707-0.
11. National Center for Biotechnology Information. Gene Bank NCBI. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov> (дата обращения: 25. 01.2022).
12. Боровиков В.П. Популярное введение в современный анализ данных в системе STATISTICA. М.: Hotline-Telecom, 2016. 288 с.

ФЛОРИСТИЧЕСКИЙ СОСТАВ МЕДОНОСНЫХ РАСТЕНИЙ ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЫ И ПУТИ ИХ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ОХРАНЫ

Холикулов М.Р., Хамидов Г.Х.

Ферганский государственный университет, Фергана, e-mail: avazbek1002@mail.ru

Выявлен видовой состав медоносных растений Ферганской долины и их закономерности, распространение и ресурсы, а также нектаропродуктивность видов и определение содержания сахара в нектаре, наиболее нектаропродуктивные виды. Составлен и проанализирован список медоносной флоры Ферганской долины, насчитывающий 490 видов и 277 родов. Определён список наиболее нектаропродуктивных видов, родов и семейств растений. Наиболее крупными семействами медоносных растений Ферганской долины являются Asteraceae, Rosaceae, Fabaceae. Подавляющее большинство видов обеспечивают пчел одновременно нектаром и пыльцой. Цветки у большинства медоносных видов за сутки продуцируют от 0,02 до 0,40 мг нектара, до 1,60 мг и только два представителя нашей флоры выделяют до 1 мг. В силу разнообразия климатических и иных условий естественная, в том числе медоносная, флора распространена в следующих вертикально-высотных зонах: пустыня, предгорье, горы и высокогорье. Наиболее богатая по видовому составу и нектаропродуктивности медоносная флора встречается в горной зоне, самая бедная – в пустынной и высокогорной зонах. Крупные семейства медоносных растений: Lamiaceae, Brassicaceae, Liliaceae, Apiaceae, Boraginaceae, Alliaceae, Scrophulariaceae, Chenopodiaceae, Papaveraceae, Ranunculaceae.

Ключевые слова: медоносно-пергонозные виды, ресурсы, нектаропродуктивность, рациональное использование, охрана, нектаропродуктивные и широко распространенные виды

FLORISTIC COMPOSITION OF HONEY PLANTS OF THE FERGANA VALLEY AND WAYS OF THEIR RATIONAL USE AND PROTECTION

Kholikulov M.R., Khamidov G.Kh.

Fergana State University, Fergana, e-mail: avazbek1002@mail.ru

The species composition of melliferous plants of the Fergana Valley, and their patterns, distribution and resources, as well as the nectar productivity of species, and determination of the sugar content in nectar, the most nectar productive species, have been revealed. A list of the melliferous flora of the Fergana Valley has been compiled and analyzed, numbering 490 species and 277 genera. A list of the most nectar-producing species, genera and families of plants has been determined. The largest families of melliferous plants in the Fergana Valley are: Asteraceae, Rosaceae, Fabaceae. Suppressing most species, they provide bees with nectar and dust at the same time. Flowers in the majority of melliferous species produce from 0.02 to 0.40 mg of nectar per day, up to 1.60 mg, and only two representatives of our flora emit up to 1 mg. Due to the variety of climatic and other natural conditions, including melliferous flora, they are distributed in the following vertical-high-altitude zones: desert, foothills, mountains and highlands. The richest in species composition and nectar productivity of the melliferous flora are found in the mountainous zone, the least in the desert and alpine zones. Large families of melliferous plants: Lamiaceae, Brassicaceae, Liliaceae, Apiaceae, Boraginaceae, Alliaceae, Scrophulariaceae, Chenopodiaceae, Papaveraceae, Ranunculaceae.

Keywords: honey-perganiferous species, resources, nectar productivity, rational use, protection, nectar productive and widespread species

Дикорастущая медоносная флора Узбекистана и Ферганской долины давно привлекала внимание исследователей своим богатством и оригинальностью. Однако до последнего времени данные об их флористическом составе и степени сахаро- и медопродуктивности растений отсутствовали.

Исследования медоносных растений носили комплексный характер, что обусловило разнообразие методик [1, 2]. Изучение медоносной ценности видов и угодий сводится в первую очередь к определению количества сахара в нектаре, выделенного цветками за весь период цветения [3–5]. Флористический состав медоносных растений [6, 7] и агроэкологических состояний, химических, геохимических

свойств орошаемых почв Ферганской долины и их продуктивность изучали многие ученые [8–10] (поэтапно). В 2018–2019 гг. обследовали Центральную Фергану, где определено около 150 видов основных источников медосбора. Затем предгорную зону Юго-Западного Тянь-Шаня (бассейн Сырдарья, Карадарья и Норин), где определено немногим более 100 медоносных растений. В 2020–2021 гг. исследованы Северная часть Алайского хребта и Северная Фергана (бассейн речек Касансой, Чадаксай). Инвентаризацию медоносных растений завершили в 2020–2021 гг. в Ферганской долине, где медоносная флора составляет 490 видов, относящихся к 277 родам и 64 семействам [3, 11].

Цель исследования – определить видовой состав и нектаропродуктивность медоносных растений Ферганской долины.

Материалы и методы исследования

Исследования медоносных растений носили комплексный характер, что обусловило разнообразие методик.

Изучение медоносной ценности видов и угодий сводится в первую очередь к определению количества сахара в нектаре, выделенного цветками за весь период цветения [4]. Для определения нектаропродуктивности растений мы приняли усовершенствованные А.М. Кулиевым (1951, 1952) и Е.И. Ливенцевой (1954) методы микропипеток и смывания.

Метод микропипеток прост и удобен, он дает возможность определить массу нектара (мг) и его концентрацию (%). Этим методом мы анализировали представителей семейств Fabaceae, Lamiaceae, Boraginaceae, Liliaceae, Malvaceae, Lythraceae, Verbenaceae, Capparidaceae, Brassicaceae, Onagraceae, Cucurbitaceae, Campanulaceae, Amaryllidaceae, Iridaceae, Orchidaceae, Resedaceae, Linaceae, Zygophyllaceae, Аросунасеае. Концентрация нектара устанавливается рефрактометром типа НІ96800.

У растений с мелкими цветками и открытыми нектарниками или с густым нектаром часто его невозможно извлечь микропипеткой. В таких случаях мы пользовались методом смывания. Этим методом устанавливали нектаропродуктивность у видов семейств Asteraceae, Rosaceae, Geraniaceae, Verberidaceae, Caryophyllaceae, Salicaceae, Euphorbiaceae, Aceraceae, Convolvulaceae и Scrophullariaceae.

Результаты исследования и их обсуждение

Виды по семействам распределены очень неравномерно. По количеству видов первое место занимает семейство Asteraceae – 98 видов, на втором Lamiaceae – 45 видов, 22 родов, на третьем и четвертом местах соответственно Fabaceae – 42 и Brassicaceae – 38 видов. Приводим флористический спектр дикорастущих медоносных растений Ферганской долины, а также список крупнейшего семейства флоры медоносов (табл. 1).

Приведём 13 крупных семейств, объединяющих 193 рода и 373 вида. Остальные семейства, 51, от одного до 5 родов. С нашей точки зрения, необходимо дальнейшее исследование медоносных видов таких крупных родов, как Astragalus, Cousinia, Hedysarum, Gagea, Ranunculus, Nepeta.

Количество медоносных видов как Узбекистана в целом, так и Ферганской долины нельзя считать величиной постоянной, так как обработка флоры Узбекистана, в том числе Ферганской долины, продолжается.

В состав медоносной флоры Ферганской долины мы включили некоторые в граничащих с нашей областями, так как пчелы берут пыльцу далеко за пределами нашей республики.

По количеству нектара, выделяемого одним цветком, первое место занимает один из представителей аридной зоны Средней Азии *Capparis spinosa*. По многолетним данным, его цветки в первый день жизни выделяют от 0,30 до 2,50 мг сахара, на второй их продуктивность достигает максимума – от 5,60 до 15,7 мг. В среднем сахаропродуктивность цветков равна 10,80 мг, концентрация сахара в нектаре составляет 26–48%. Такая высокая сахаромедопродуктивность позволила Р. Худайбергганову [12] рекомендовать его в культуру.

Крупные семейства медоносных видов приведены в табл. 2.

В горной зоне часто встречаются высокопродуктивные многолетние виды родов *Althaea* и *Alcea*. Их цветки за сутки выделяют 1–3 мг сахара. Высокой нектарной продуктивностью отличаются также *Eremostachys lehmanniana*, *Thermopsis alterniflora*, *Salvia virgata*, *Lindelofia macrostylis*, *Colutea orbiculata* и др.

Нектаропродуктивность цветков определяется биологическими особенностями растения, размером нектарников, их расположением, а также климатическими и экологическими условиями. В зависимости от этих комплексных факторов она колеблется от 0,01 до 8–10 мг. Цветки абсолютного большинства медоносных видов за сутки продуцируют от 0,02 до 0,10 мг сахара. Лишь некоторые виды выделяют 0,20–0,80 мг сахара.

Таким образом, установлена нектаропродуктивность у большинства видов. Нектаропродуктивность преобладающего большинства видов колеблется от 0,02–0,10 мг до 0,20–0,30 мг и только у 20 видов от 0,50 и больше 8–10 мг.

В условиях Ферганской долины к ценным источникам медосбора относятся *Ziziphora pedicellata*, *Origanum tythanthum*, *Leonurus turkestanicus*, *Salvia sclarea*, *S. virgata*, *Melilotus officinalis*, *Melissa officinalis*, *Betonica foliosa* виды родов *Trigonella*, *Prangos*, *Ferula* и др. Их нектаропродуктивность составляет от 50–60 до 100–120 кг/га.

Таблица 1

Флористический спектр медоносных растений Ферганской долины

№	Семейства	Распространено		№	Семейства	Распространено	
		Роды	Виды			Роды	Виды
1	Equisetaceae	1	2	33	Tamaricaceae	1	1
2	Ephedraceae	1	1	34	Salicaceae	2	6
3	Cupressaceae	1	1	35	Primulaceae	3	3
4	Alismataceae	1	1	36	Tiliaceae	1	1
5	Poaceae	3	3	37	Papaveraceae	6	9
6	Berberidaceae	3	4	38	Capparidaceae	1	1
7	Araceae	2	2	39	Malvaceae	3	6
8	Ranunculaceae	5	8	40	Thymelaceae	1	1
9	Euphorbiaceae	3	5	41	Saxifragaceae	1	1
10	Aceraceae	1	2	42	Rosaceae	18	35
11	Balsaminaceae	1	1	43	Amaranthaceae	1	1
12	Vitaceae	1	1	44	Chenopodiaceae	7	9
13	Hypericaceae	1	3	45	Geraniaceae	2	8
14	Rhamnaceae	1	2	46	Peganaceae	1	1
15	Alliaceae	1	12	47	Zygophyllaceae	4	6
16	Liliaceae	9	32	48	Rutaceae	2	3
17	Amarilidaceae	2	3	49	Polygalaceae	1	1
18	Iridaceae	3	5	50	Caesalpinaceae	1	1
19	Orchidaceae	1	1	51	Fabaceae	19	42
20	Polygonaceae	4	6	52	Scrophyllariaceae	19	11
21	Caryophyllaceae	4	4	53	Plantaginaceae	1	2
22	Portulacaceae	1	1	54	Rubiacea	1	2
23	Violaceae	1	1	55	Oleaceae	1	1
24	Datisceae	1	1	56	Elaeagnaceae	2	2
25	Brassicaceae	20	33	57	Valerianaceae	1	1
26	Ulmaceae	2	2	58	Dipsacaceae	2	2
27	Moraceae	3	4	59	Apocynaceae	1	1
28	Urticaceae	2	2	60	Onagraceae	1	1
29	Cuscutaceae	1	2	61	Apiaceae	16	20
30	Verbenaceae	1	1	62	Caprifoliaceae	1	6
31	Boraginaceae	11	14	63	Lamiaceae	22	45
32	Resedaceae	1	2	64	Asteraceae	41	98
Итого						277	490

Таблица 2

Крупные семейства медоносных видов

№	Семейства	Роды	Вид	Роды, %	Вид, %
1	Asteraceae	41	98	21	26,3
2	Lamiaceae	22	45	11	12,1
3	Fabaceae	19	42	10	11,3
4	Brassicaceae	20	38	10	10,2
5	Rosaceae	18	35	9	9,4
6	Liliaceae	9	32	5	8,5
7	Apiaceae	16	20	8	5,3
8	Boraginaceae	11	14	6	3,8
9	Alliaceae	11	12	6	3,2
10	Scrophullariaceae	9	11	5	2,9
11	Chenopodiaceae	6	9	3	2,4
12	Papaveraceae	6	9	3	2,4
13	Ranunculaceae	5	8	3	2,1
Итого		193	373	100	100

В медоносной флоре Ферганской долины, как и в других областях Узбекистана, особое место занимают древесно-кустарниковые виды, они, как и травянистые виды, продуцируют много нектара и пыльцы. Большинство деревьев и кустарников зацветает очень рано и обеспечивает пчел ранним медосбором.

Количества нектара одного цветка у древесно-кустарниковых видов колеблется от 0,02 до 2,10 мг, но в среднем у большинства видов составляет от 0,02 до 0,40 мг.

Высокой нектаропродуктивностью отличаются представители бобовых и розоцветных. В горных местностях нашей долины, впрочем, как и других горных местностях одними из основных источников медосбора отличаются *Amygdalus communis*, *A. bucharica*, *A. spinosissima*, *Malus sieversii*, *Prunus divaricata*, *Crataegus turkestanica*, *C. pontica*, *Cerasus erythrocarpa*, *Caragana turkestanica*, *Calopaca tianschanica*, *Acer semenovii*,

а также многочисленные виды родов *Rosa*, *Berberis* и др. В предгорных и горных районах нашей страны широко распространены яблоня, боярышник, алыча, миндаль и вишня. Они занимают большие массивы, и их следует полнее использовать в качестве источников медосбора (табл. 3).

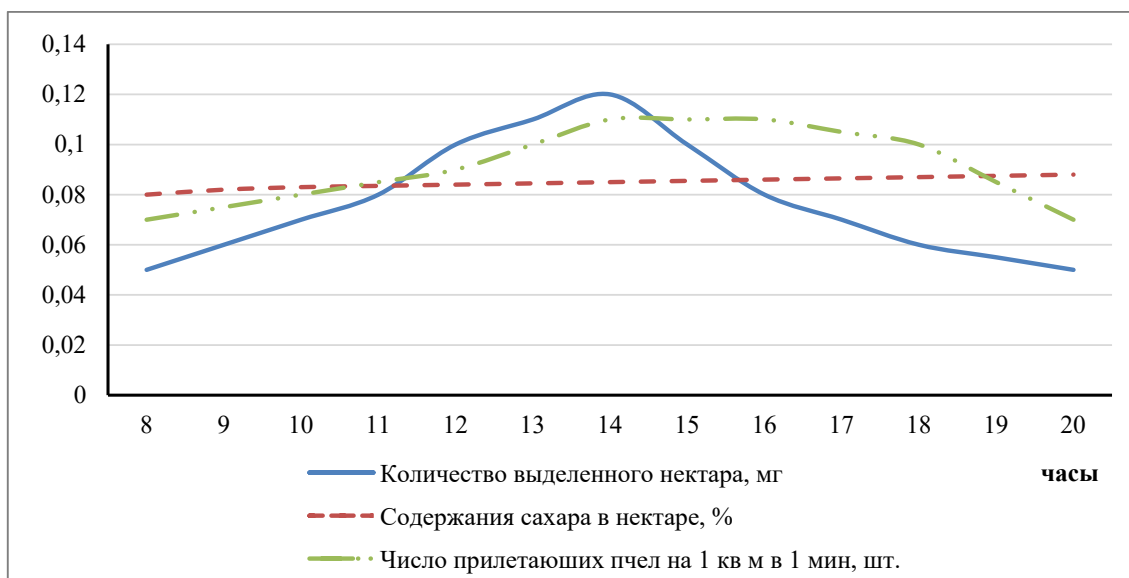
Медопродуктивность широко распространенных древесно-кустарниковых растений составляет от нескольких до 40–50 кг/га (табл. 3).

Естественные медопродуктивные угодья Ферганской долины – основной источник медосбора. Однако из-за низкой нектаропродуктивности они не могут удовлетворить растущие потребности пчеловодства. Кроме того, их площадь с каждым годом сокращается в связи с освоением земель. Темпы развития пчеловодства не отвечают возрастающим потребностям народного хозяйства.

Таблица 3

Медопродуктивность распространенных древесно-кустарниковых растений

№	Вид	Количества сахара, выделенного в нектаре			Медопродуктивность кг/га
		мг/цветок	мг/растение	кг/га	
1	<i>Populus pruinosa</i>	0,03±0,01	3729	1,11	1,38
2	<i>Salix alba</i>	0,03±0,01	5517	2,13	2,66
3	<i>Berberis integerrima</i>	0,05±0,02	1769	0,66	0,82
4	<i>Spiraea hypericifolia</i>	0,06±0,02	677	0,24	0,30
5	<i>Cotoneaster multiflorus</i>	0,07±0,02	1307	1,08	1,35
6	<i>Pyrus regelii</i>	0,17±0,03	12860	3,84	4,80
7	<i>Malus sieversii</i>	0,27±0,04	33828	35,79	44,36
8	<i>Sorbus tianschanica</i>	0,10±0,03	3764	3,27	4,08
9	<i>Crataegus pontica</i>	0,09±0,02	6076	14,76	18,45
10	<i>C. turkestanica</i>	0,10±0,03	13134	20,88	26,10
11	<i>Prunus divaricata</i>	0,21±0,05	18052	25,98	32,47
12	<i>Amygdalus communis</i>	0,60±0,08	54177	42,24	52,80
13	<i>A. bucharica</i>	0,50±0,06	40655	28,05	35,06
14	<i>A. spinosissima</i>	0,30±0,04	1074	30,93	38,66
15	<i>A. petunnikowii</i>	0,31±0,05	3005	18,93	23,66
16	<i>Padellus machaleb</i>	0,15±0,04	13647	6,12	7,65
17	<i>Cerasus erythrocarpa</i>	0,14±0,03	1471	22,60	28,25
18	<i>Colutea brachyptera</i>	0,90±0,13	11756	25,74	32,17
19	<i>Caragana turkestanica</i>	2,18±0,21	20302	24,96	31,20
20	<i>Calophaca tianschanica</i>	0,11±0,03	196	22,59	28,23
21	<i>Astragalus vilosissimus</i>	0,10±0,03	151	18,63	23,28
22	<i>A. ugamicus</i>	0,23±0,06	126	1,53	1,91
23	<i>Acer pubescens</i>	0,15±0,03	20451	18,19	22,73
24	<i>A. semenovii</i>	0,16±0,04	26372	20,55	25,68
25	<i>Rhamnus cathartica</i>	0,03±0,01	1316	3,57	4,47
26	<i>Lonicera nummulariifolia</i>	0,10±0,03	5589	16,41	20,51



Динамика выделения нектара цветками вики тонколистной и посещаемости пчел

Влияние антропогенного фактора, а также глобальные изменения климата отрицательно влияют на растения и на их медопродуктивность. Нерегулируемая пастбища, сенокосение, рубка отрицательно сказываются и на возобновлении отдельных видов медоносных растений. Использование медоносных растений необходимо вести с учетом их биологических особенностей и перспектив возобновления. В целях дальнейшего развития пчеловодства мы рекомендуем организации проводить посевы пустыrnика туркестанского, донника лекарственного и эспарцета ферганского и песчаного. Медоносные ресурсы поливной зоны (хлопчатник, люцерна, овощно-бахчевые, декоративные и плодовые культуры), также могут повысить производительность пчеловодства.

Географическое положение Узбекистана и Средней Азии в центральной части материка предопределяет две основные характеристики климата: резкую континентальность и засушливость. Для региона характерны очень высокая температура и низкая относительная влажность воздуха и почвы. Следовательно, выделение нектара цветками медоносных растений в Средней Азии, в том числе Узбекистана, протекает преимущественно в особых экстремальных условиях.

В связи с разнообразными экологическими факторами и приспособительной способностью растений, которая выработалась в процессе эволюции, выделение нектара цветками протекает в более ши-

роких диапазонах (температура воздуха от 15–20 до 40–45, относительная влажность воздуха от 15–20% и выше, а почвы 5–10% и более), чем в других зонах (Хамидов, 1981).

Как обычно, нектар начинает выделяться с утра, его максимальное выделение приходится на середину дня, когда температура воздуха поднимается до максимума. Посещаемость цветков пчелами совпадает с максимальным выделением нектара (рисунок).

Заключение

В пределах нашего региона зарегистрировано 490 видов нектароносно-пыльценозных растений, относящихся к 64 семействам и 277 родам. Это почти пятая часть всех растений, произрастающих в нашем регионе.

Основную часть выявленных медоносных растений долины составляют главным образом покрытосемянные, среди которых имеются представители всех 6 подклассов магнолиецветные (двудольные) и 2 подкласса лилиецветные (однодольные).

По семействам виды распределены очень неравномерно. Первое место по числу видов занимает Asteraceae (98 видов), на втором месте Lamiaceae (45 видов), на третьем Fabaceae (42 вида).

По количеству сахара, выделенного в составе нектара одним цветком, первое место занимает *Capparis spinosa*. По многолетним данным, один его цветок выделяет 10,87 мг, что является максимальным показателем среди медоносов. Концентрация сахара в нектаре варьирует от 30 до 50%.

Для организации устойчивых и надежных источников медосбора необходимо производить посевы и подсевы пустырника туркестанского, синяка обыкновенного и эспарцета песчаного. Необходимо расширять освоение и использование медопродуктивных угодий горных и высокогорных массивов западного Тянь-Шаня и Памиро-Алая, где имеются значительные резервы медосбора.

Список литературы

1. Кулиев А.М. Задачи изучения медоносных и пергоносных растений. М.: Академия наук СССР, 1952. 303 с.
2. Глухов М.М. Медоносные растения. М.: Колос, 1974. 304 с.
3. Хамидов Г.Х., Давидов М.А., Акбарова М.Х., Холикулов М.Р. Медоносные растения и развитие пчеловодства. Фергана: Poligraf Super Servis, 2019. 156 с.
4. Броварский В.Д., Турдалиев А.Т., Мирзахмедова Г.И. Воздействие температуры окружающей среды на пчел и растения // Научное обозрение. Биологические науки. 2020. № 3. С. 43–48.
5. Brovarskiy V.D., Turdaliev A.T., Mirzakhmedova G.I. High temperatures and their effects on plants and bees // Animal science and food technology. Scientific Journal. 2020. Vol. 11. No. 2. P. 5–15.
6. Jamolov R., Abdullayeva G., Haydarova N., Teshaboyev N. The role of water and salt in the life of bees. In Conference. 2021. С. 216–219.
7. Хамидов Г.Х., Холикулов М.Р. Каперсы колючие (*Sarraris spinosa* L.) важное медоносное растение. Научный вестник Наманганского государственного университета. 2020. № 3. С. 165–170.
8. Турдалиев А.Т., Аскарлов К.А. Энергетические особенности микроэлементов в засоленных почвах Центральной Ферганы // Актуальные проблемы современной науки. 2019. № 6. С. 83–87.
9. Turdaliev A., Yuldashev G., Askarov K., Abakumov E. Chemical and Biogeochemical Features of Desert Soils of the Central Fergana. Agriculture (Pol'nohospodárstvo), 2021. Vol. 67. No. 1. P. 16–28.
10. Турдалиев А.Т., Аскарлов К.А., Мирзаев Ф.А. Морфологические особенности орошаемых почв Центральной Ферганы // Почвы и окружающая среда. 2019. Т. 2. № 3. С. 1–6.
11. Kholikulov M.R. Current Status of Plant Resources in The Ferghana Valley and Opportunities To Use Them. Indonesian Journal of Education Methods Development. 2020. Vol. 1. P. 5–13.
12. Худайбергенов Р. Биология каперса и перспективы его культуры: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ташкент, 1959. 24 с.

УДК 612.821

НЕСПЕЦИФИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА ЖЕНЩИН В ПОКОЕ И АКТИВНОМ БОДРСТВОВАНИИ В ДНИ С РАЗЛИЧНОЙ ГЕЛИОГЕОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКОЙ ЗЕМЛИ

^{1,2}Аллахвердиева А.А., ²Бабаев Э.С., ¹Аллахвердиев А.Р.

¹Институт физиологии им. академика Абдуллы Караева

Национальной академии наук Азербайджана, Баку, e-mail: ali_doctor@mail.ru;

²Бакинский государственный университет, Баку, e-mail: elchin.babayev@gmail.com

В работе представлен персонализированный анализ биоэлектрической активности головного мозга (ЭЭГ) практически здоровых лиц женского пола 50–60 лет в дни слабых геомагнитных возмущений ($K_p = 4$) и в геомагнитно спокойные дни. Анализировались отрезки ЭЭГ обоих полушарий с определением частотно-амплитудных и индексных характеристик областей мозга в состоянии спокойного бодрствования и при предъявлении испытуемым функциональной пробы с открыванием глаз. Было выявлено, что в дни с повышением геомагнитной активности Земли наблюдается нарушение реакции головного мозга на открывание глаз, отражающее адаптивную реактивность. При этом нарушения преимущественно проявляются в медленноволновом спектре и в медленночастотном диапазоне быстрой активности. Выявлена противоположная корреляция тета- и преимущественно дельта-волн с бета-ритмом низкой частоты. Открывание глаз сопровождается нарушением наблюдаемого в покое баланса между активирующими и деактивирующими механизмами неспецифических систем мозга, с подавляющим преобладанием активирующих процессов. Повышение же активности магнитной сферы при открывании глаз нарушает этот механизм, усиливая деактивирующий (тормозной) компонент и вызывая недостаточность активирующих процессов. При этом наиболее тесная противоположная взаимосвязь прослежена между дельта-индексом и индексом бета-ритма низкой частоты.

Ключевые слова: электроэнцефалография, частотно-амплитудный, индексный анализы, активное бодрствование, женщины, геомагнитно спокойные дни, геомагнитные возмущения

NONSPECIFIC BRAIN SYSTEMS OF WOMEN AT REST AND ACTIVE WAKEFULNESS ON DAYS WITH DIFFERENT HELIOGEOMAGNETIC CONDITIONS OF THE EARTH

^{1,2}Allakhverdieva A.A., ²Babaev E.S., ¹Allakhverdiev A.R.

¹Institute of Physiology named after Abdulla Qaraev of the Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, e-mail: ali_doctor@mail.ru;

²Baku State University, Baku, e-mail: elchin.babayev@gmail.com

The paper presents a personalized analysis of the bioelectrical activity of the brain (EEG) of practically healthy females aged 50-60 years on days of weak geomagnetic disturbances ($K_p=4$) and on geomagnetically quiet days. The EEG segments of both hemispheres were analyzed with the determination of the frequency-amplitude and index characteristics of the brain regions, in a state of calm wakefulness and when the subjects were presented with a functional test with eye opening, reflecting adaptive reactivity. In this case, disturbances are predominantly manifested in the slow-wave spectrum and in the slow-frequency range of fast activity. An opposite correlation of theta and predominantly delta waves with a low-frequency beta rhythm was revealed. Opening the eyes is accompanied by a violation of the balance observed at rest between the activating and deactivating mechanisms of nonspecific brain systems, with an overwhelming predominance of activating processes. An increase in the activity of the magnetic sphere when the eyes are opened disrupts this mechanism, strengthening the deactivating (inhibitory) component and causing insufficiency of activating processes. At the same time, the closest opposite relationship was traced between the delta index and the low frequency beta rhythm index.

Keywords: electroencephalography, frequency-amplitude, index analyses, active wakefulness, women, geomagnetically quiet days, geomagnetic disturbances

В онтогенезе, наряду с другими физиологическими системами, идет процесс формирования биоэлектрической активности головного мозга (ЭЭГ), перестройка ее структуры и адаптивных возможностей. Пик формирования – зрелый тип, подробно описанный многими исследователями [1]. По мере старения человека картина ЭЭГ также изменяется, и в то же время она не имеет четких закономерностей, позволяющих, как это происходит по мере взросления, однозначно описать динами-

ку изменений. Ранее нами был проведен сравнительный анализ структурной организации корковой активности практически здоровых женщин зрелого и пожилого возрастов [2]. Было отмечено, что у лиц женского пола в процессе перехода от зрелого возраста к пожилому наблюдается активация как септо-гиппокампулярной системы, так и в меньшей степени активности восходящих влияний ретикулярной формации. Учитывая важность влияния на головной мозг факторов внешней среды, среди ко-

торых большое значение имеет состояние гелиогеомагнитной обстановки Земли, нами были изучены особенности мозговой деятельности пожилых женщин в различных функциональных ситуациях в периоды со спокойной и повышенной геомагнитной обстановкой. Придавая особое значение состояниям, в которых в течение дня пребывает человек, мы подвергли анализу ЭЭГ в состоянии спокойного бодрствования и в процессе умственной деятельности. Был показан различный характер активности головного мозга в покое, а также представлена различная динамика показателей при смене состояний в спокойные дни и в дни с геомагнитным возмущением. Несомненно, что наряду с исследованными интерес представляют и другие состояния бодрствования, отражающие адаптивные возможности мозга.

Цель исследования – проведение сравнительного анализа структуры биоэлектрической активности мозга пожилых женщин в дни с различной геомагнитной активностью в состояниях покоя и активного бодрствования.

Материалы и методы исследования

Для сравнения динамики характеристик электрической активности мозга проводились лонгитудинальные исследования, позволяющие избежать воздействия личностных показателей, имеющих различную степень выраженности. Учитывая то, что показана большая связь локального Кр-индекса с изменениями ЭЭГ характеристик, чем с планетарным Ар-индексом [3], мы для анализа геомагнитной ситуации использовали Кр-индекс. Исследования проводились в группе здоровых лиц женского пола (50–60 лет) в дни с $K_p = 1$ (отсутствие возмущения) и с $K_p = 4$ (слабое возмущение). Прогноз геомагнитной ситуации в г. Баку представлялся кафедрой астрофизики Бакинского государственного университета. Регистрация электрической активности мозга осуществлялась от областей обоих полушарий мозга на энцефалографе фирмы «Нейрософт» (Российская Федерация), по схеме 10–20%. Обследование проводилось в расслабленном положении с закрытыми глазами. Для оценки реактивности головного мозга применялась проба с открыванием глаз, переход из спокойного в активное бодрствование. Лишенные артефактов отрезки ЭЭГ в состоянии спокойного и активного бодрствования анализировались по программам фирмы «Нейрософт» (Россия). Анализировались частоты, амплитуды и индексы для всего спектра

ЭЭГ ритмов. По программам «Microsoft Excel» определялась динамика характеристик при смене состояний в различные геомагнитные дни, с построением графиков, отражающих отклонения в величинах показателей.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате анализа были получены индексные и частотно-амплитудные характеристики электрической активности коры головного мозга, раскрывающие структуру ЭЭГ лиц женского пола пожилого возраста в состоянии расслабленного (глаза закрыты) и активного бодрствования (глаза открыты) в дни с различной степенью геомагнитной активности. Для выявления особенностей динамики данных ЭЭГ при смене функциональных состояний, проводился сравнительный анализ всего спектра показателей, с построением диаграмм, отражающих величины изменений. В периоды спокойных и дней с гелиогеомагнитными возмущениями в динамике показателей были выявлены как общие закономерности, так и различия в структурной организации биоэлектрической активности. При этом значимые различия были выявлены в индексных показателях. В показателях же частот и амплитуд существенная динамика не прослеживалась. Компьютерный анализ полученных данных ЭЭГ представлен на диаграммах (рис. 1).

Данные диаграммы свидетельствуют о диффузном снижении индекса альфа-ритма при открывании глаз как в спокойные дни, так и в дни повышения магнитной активности. Хорошо известно, что у подавляющего большинства здоровых лиц, при отсутствии внешнего раздражителя, в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами более высокие показатели альфа-ритма отмечаются в каудальных отделах обоих полушарий мозга (основной затылочный ритм). При открывании глаз, в состоянии напряженного внимания, на ЭЭГ прослеживается хорошо выраженная реакция активации, то есть снижение амплитуды и мощности альфа-ритма, наблюдается так называемая реакция десинхронизации альфа-ритма [4]. Реакция десинхронизации альфа-ритма означает переход головного мозга от покоя к активному состоянию. Еще Ганс Бергер в 1929 г. обнаружил эффект блокирования альфа-ритма при открывании глаз [5]. Проба с открыванием глаз, характеризующая реактивность мозговой активности, широко используется в клинической практике в дифференциальной диагностике заболеваний головного мозга.

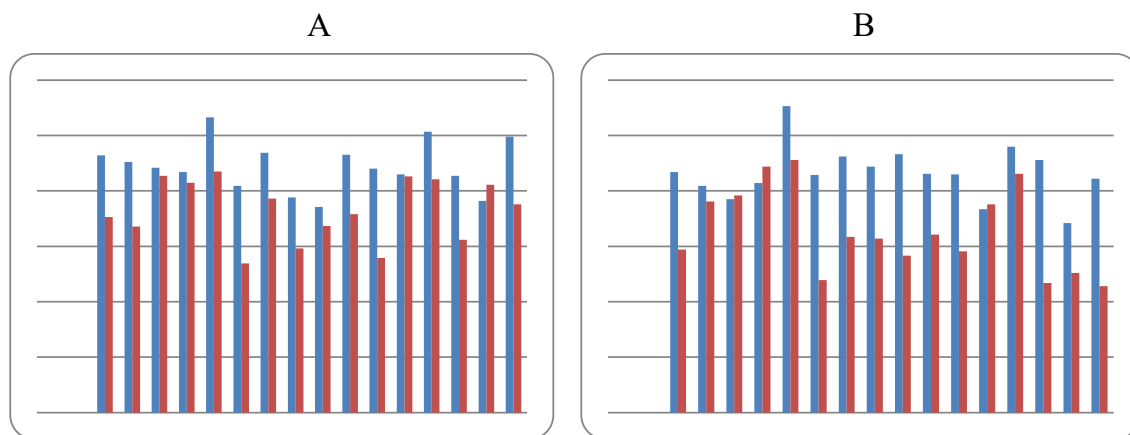


Рис. 1. Диаграмма индексных показателей альфа-ритма в состоянии покоя (синий цвет) и при открывании глаз (красный цвет) в спокойные (А) и геомагнитно активные дни (В) у пожилой женщины. По оси абсцисс – области коры, по оси ординат – процентное выражение

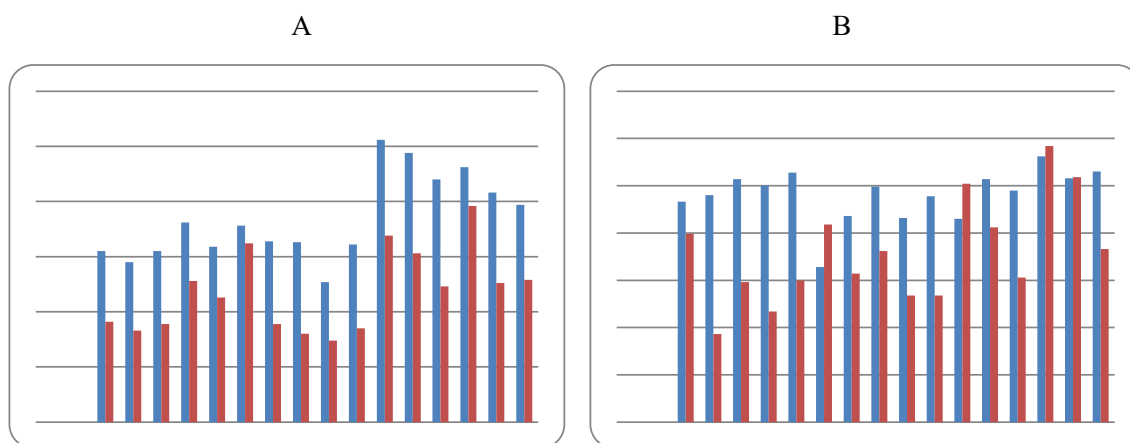


Рис. 2. Диаграмма индексных показателей тета-ритма в состоянии покоя (синий цвет) и при открывании глаз (красный цвет) в спокойные (А) и геомагнитно активные дни (В) у пожилой женщины. По оси абсцисс – области коры, по оси ординат – процентные значения индексов

Наряду с индексом альфа-ритма также изменения наблюдались и в индексных показателях тета-ритма (рис. 2).

Как видно из рисунка, в относительно спокойные дни при открывании глаз отчетливо прослеживается значительное снижение процентной представленности тета-ритма по всем отведениям (рис. 2), в то время как в дни геомагнитных возмущений отмечается менее выраженная реакция. В то же время, как было показано ранее [6], в дни повышения магнитной активности отмечается увеличение представленности тета-активности, свидетельствующее об активации септо-гиппокампальной системы и снижении восходящих влияний активирующего звена регуляторных механизмов. Повышенный ее уровень в геомагнитно ак-

тивные дни, по-видимому, и является причиной менее выраженной реакции. Если учесть, что мощность тета-ритма коррелирует с вегетативной активностью и уровнем эмоциональной возбудимости [7, 8], то можно предположить, что изначально высокий их уровень в дни магнитной активности поддерживается как в спокойном, так и в активном бодрствовании. На связь тета-активности с геомагнитными флуктуациями указано и в работах [9], отмечавших снижение коэффициента когерентности тета-ритма между лобными и затылочными областями при работе на компьютере в дни умеренной магнитной бури в сравнении со спокойными днями.

Выраженную динамику при смене состояний прослеживает и дельта-индекс (рис. 3).

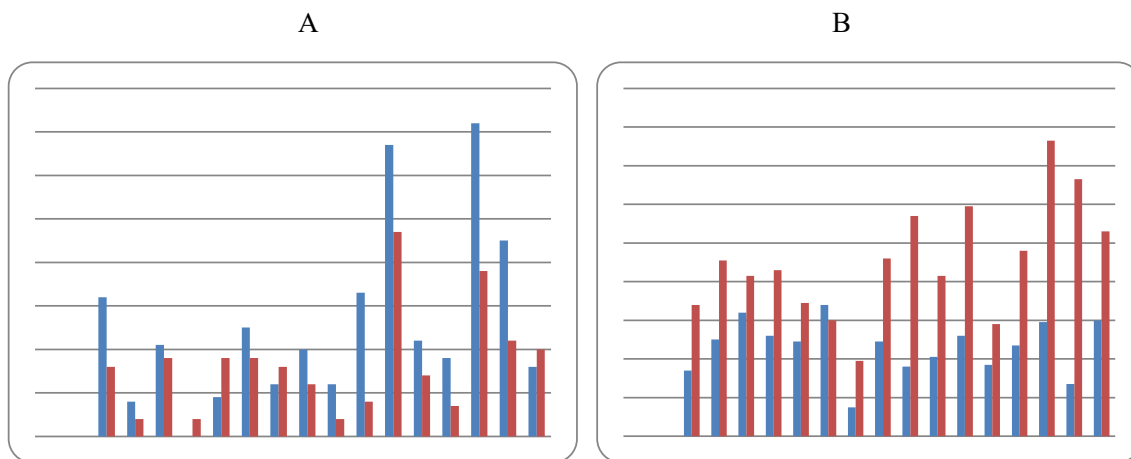


Рис. 3. Диаграмма индексных показателей дельта-ритма в состоянии покоя (синий цвет) и при открывании глаз (красный цвет) в спокойные (А) и геомагнитно активные дни (В) у пожилой женщины. По оси абсцисс – области коры, по оси ординат – процентное значение индексов

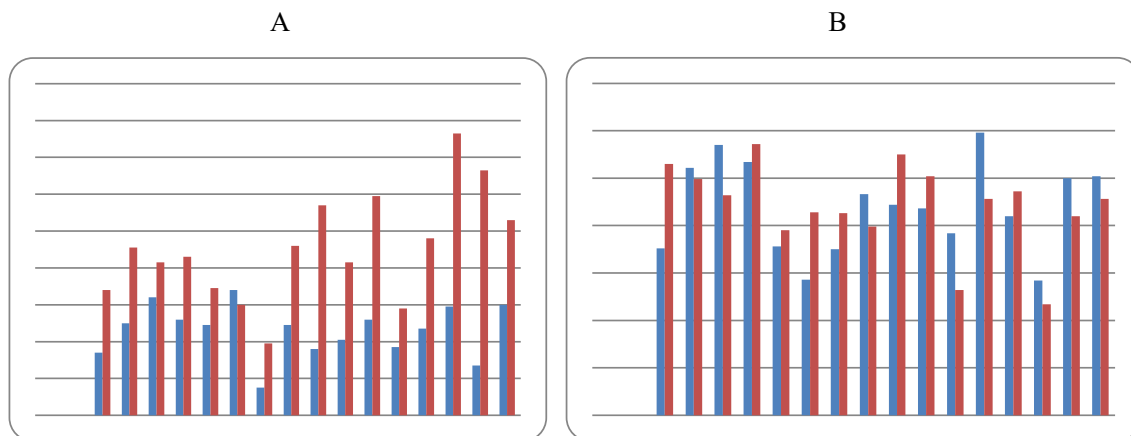


Рис. 4. Диаграмма индексных показателей низкочастотного бета-ритма, в покое (синий цвет) и при открывании глаз (красный цвет) в спокойные (А) и геомагнитно активные дни (В) у пожилой женщины. По оси абсцисс – области коры, по оси ординат – процентное значение индексов

При этом, в сравнении со спокойными днями, в дни с повышенной активностью магнитной сферы отмечается противоположная реакция, проявляющаяся в диффузном усилении выраженности дельта-ритма. Увеличение выраженности дельта-ритма является проявлением усиления синхронизирующих механизмов центральных аппаратов головного мозга. Наблюдаемая в дни с $K_p = 1$ при открывании глаз депрессия дельта-ритма отражает адекватный вариант реактивности, увеличение же дельта-активности по всем корковым областям в дни с $K_p = 4$ свидетельствует о нарушении этого процесса и преобладании тормозных механизмов.

При смене состояний в динамике быстрой частотной активности различия наблюдаются в показателях низкочастотного спектра бета-ритма (рис. 4). В возмущенные геомагнитные дни, в сравнении со спокойными днями, реакция увеличения процента низкочастотного бета-ритма менее выражена, в то время как в показателях индекса быстрой частотной бета-ритма существенная разница не прослеживалась (рис. 5).

В структуре биоэлектрической активности мозга бета-ритм наблюдается в бодрствующем состоянии, при открытых глазах, при сфокусированном внимании, когда человек наблюдает за происходящими событиями, при сосредоточении на решении каких-либо проблем.

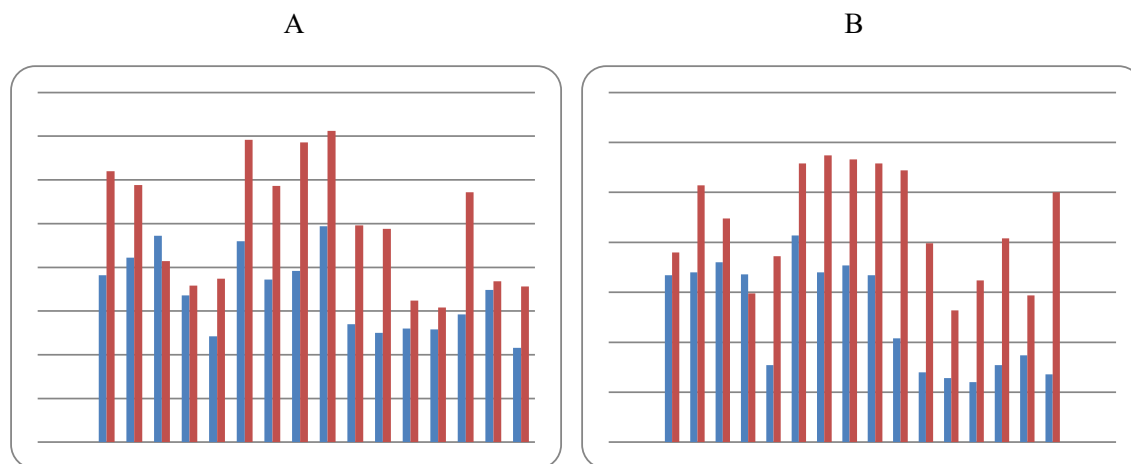


Рис. 5. Диаграмма индексных показателей быстрочастотного бета-ритма в состоянии покоя (синий цвет) и открывании глаз (красный цвет) в спокойные (А) и геомагнитно активные дни (В) у пожилой женщины. По оси абсцисс – области коры, по оси ординат – процентное значение индексов

Бета-ритм является отражателем активации мозга в ответ на различного рода воздействия, оказанные на образование ретикулярной формации ствола. На связь изменений бета-ритма с реакцией активации на ЭЭГ указывается в исследованиях [4], в которых появление быстроволновой активности в структуре биоэлектрической активности мозга интернет-независимых лиц в состоянии покоя с открытыми глазами, сопровождается преимущественным увеличением индекса волн бета-1 диапазона. В наших же исследованиях в дни геомагнитного возмущения, в отличие от спокойных дней при открывании глаз реакция усиления быстрой активности страдает именно за счет волн низкого диапазона бета-ритма. Что свидетельствует о том, что в реакции активации мозга при открывании глаз участвует компонент бета-ритма низкой частоты, который и подвергается воздействию геомагнитного возбуждения.

Заключение

Таким образом, результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что в дни повышения геомагнитной активности Земли наблюдается нарушение реакции головного мозга на открывание глаз, отражающей адаптивную реактивность. При этом нарушения преимущественно проявляются в медленноволновом спектре и в медленночастотном диапазоне быстрой активности. Выявлена противоположная корреляция тета- и преимущественно дельта-волн с бета-ритмом низкой частоты.

Полученные в работе данные можно охарактеризовать с позиций деятельности

центральных регуляторных систем мозга, участвующих в организации функциональных состояний организма и настройке специфических систем на осуществление текущей деятельности на протяжении всего цикла бодрствование – сон. Важнейшим звеном центральных регуляторных систем головного мозга являются несинхронизирующие (активирующие) и синхронизирующие (деактивирующие, тормозные) механизмы. Баланс этих механизмов является необходимым условием нормальной функциональной деятельности головного мозга. Нарушение этого баланса сопровождается соответствующими поведенческими эффектами. Открывание глаз сопровождается нарушением наблюдаемого в покое баланса между активирующими и деактивирующими механизмами неспецифических систем мозга, с подавляющим преобладанием активирующих процессов. Повышение же активности магнитной сферы при открывании глаз нарушает этот механизм, усиливая деактивирующий (тормозной) компонент и вызывая недостаточность активирующих процессов. При этом наиболее тесная противоположная взаимосвязь прослежена между дельта-индексом и индексом бета-ритм низкой частоты.

Не вызывает сомнений влияние на данные, полученные в группе практически здоровых пожилых женщин, и возрастного фактора. В связи с этим интерес представляет возрастно-половой аспект проблемы, поэтапное решение которой планируется нами в дальнейших исследованиях.

Список литературы

1. Поддубный С.К., Аикин В.А., Васильев В.Н., Елохова Ю.А. Возрастная динамика биоэлектрической активности головного мозга у подростков // Вестник Медицинского института РЕАВИЗ. 2016. № 4. С. 121–127.
2. Аллахвердиева А.А., Аллахвердиев А.Р. Структурная организация биоэлектрической активности головного мозга женщин зрелого и пожилого возрастов // Научное обозрение. Фундаментальные и прикладные исследования. 2018. № 4. С. 5–11.
3. Кануников И.Е., Белов Д.Р., Гетманенко О.В. Влияние геомагнитной активности на электроэнцефалограмму человека // Экология человека. 2018. С. 6–11.
4. Рабаданова А.И., Черкесова Д.У., Бабаева Э.М., Ашурбекова М.И. Электрическая активность мозга и межполушарные взаимодействия при формировании интернет-зависимости // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2017. Т. 19. № 2 (3). С. 518–522.
5. Berger H. Uber das Elektroenkephalogramm des Menschen. 1 st report. Arch. Psychiat Nervenkr. 1929. Vol. 87. P. 527–570.
6. Аллахвердиев А.Р., Аллахвердиева А.А., Бабаев Э.С. Особенности функционального состояния головного мозга пожилых женщин в состоянии покоя и умственного напряжения в дни с различной геомагнитной обстановкой // Журнал «Физиология человека». 2020. Т. 46. №. 4. С. 71–80.
7. Гришко Е.А., Бутова О.А. Индукционные отношения нейронов коры головного мозга у военнослужащих силовых структур Российской Федерации // Журнал «Наука. Инновации. Технологии». 2014. № 2. С. 189–191.
8. Русалов В.М., Русалова М.Н., Стрельникова Е.В. Электрофизиологическое исследование мотивации выбора у человека // Успехи физиологических наук. 2002. Т. 33. № 2. С. 68–82.
9. Новак О.Б., Смирнов Ф.А. Геомагнитная буря уменьшает когерентность электрических колебаний головного мозга при работе на компьютере. Биофизика. 2013. Т. 58. Вып. 3. С. 554–560.

ОБЗОР

УДК 57.044

**АДАПТАЦИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА РАСТЕНИЙ
К СОЛЕВОМУ СТРЕССУ**^{1,2}Рахматуллина Н.Ш., ¹Насриддинова П.М.,¹Акиншина Н.Г., ¹Азизов А.А., ¹Мирходжаев У.З.¹*Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Ташкент,
e-mail: rakhmatullina.nigina@mail.ru;*²*Центр передовых технологий при Министерстве инновационного развития
Республики Узбекистан, Ташкент*

Фотосинтезирующие организмы при длительном воздействии неблагоприятных условий окружающей среды испытывают задержку в росте и развитии. Засоление оказывает негативное влияние на основные процессы жизнедеятельности растений, такие как синтез белков, фотосинтез, энергетический и липидный обмен. В ответ на солевой стресс у растений формируются определенные физиологические и биохимические механизмы адаптации. Ранние сигналы, запускающие реакцию на солевой стресс, включают избыток Na^+ , изменение уровня внутриклеточного Ca^{2+} и накопление активных форм кислорода. При солевом стрессе избыток Na^+ воспринимается быстро и запускает последующие реакции на натриевый стресс. Засоление среды приводит к обезвоживанию клеток, что вызывает осмотический стресс и удаление воды из цитоплазмы, что приводит к снижению цитозольного и вакуолярного объемов. Солевой стресс часто создает как ионный, так и осмотический стресс в растениях, что приводит к накоплению или уменьшению специфических вторичных метаболитов в растениях. В ходе многих исследований было показано, что под действием засоления снижается скорость фотосинтеза. Понимание того, как растения стабилизируют свой фотосинтетический аппарат и поддерживают баланс углерода в условиях повышенной солености, может быть чрезвычайно полезным при подборе и интродукции культур для засоленных и засушливых земель.

Ключевые слова: фотосинтез, адаптация, засоление, пролин, хлорофилл

ADAPTATION OF PLANTS PHOTOSYNTHETIC APPARATUS TO SALT STRESS^{1,2}Rakhmatullina N.Sh., ¹Nasriddinova P.M.,¹Akinshina N.G., ¹Azizov A.A., ¹Mirkhodzhaev U.Z.¹*National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Tashkent,
e-mail: rakhmatullina.nigina@mail.ru;*²*Centre for Advanced Technologies under the Ministry of Innovative Development
of the Republic of Uzbekistan, Tashkent*

Photosynthetic organisms with prolonged exposure to adverse environmental conditions experience a delay in growth and development. Salinity has a negative impact on the basic processes of plant life, such as protein synthesis, photosynthesis, energy and lipid metabolism. In response to salt stress, certain physiological and biochemical mechanisms of adaptation are formed in plants. Early signals triggering salt stress responses include excess Na^+ , changes in intracellular Ca^{2+} levels, and accumulation of reactive oxygen species. Under salt stress, excess Na^+ is taken up quickly and elicits a sodium stress response. Salinization of the medium leads to dehydration of cells, which causes osmotic stress and removal of water from the cytoplasm, which leads to a decrease in the cytosolic and vacuolar volumes. Salt stress often creates both ionic and osmotic stress in plants, resulting in the accumulation or reduction of specific secondary metabolites in plants. In the course of many studies, it has been shown that under the influence of salinity, the rate of photosynthesis decreases. Understanding how plants stabilize their photosynthetic apparatus and maintain carbon balance under conditions of increased salinity can be extremely helpful in selecting and introducing crops for saline and dry lands.

Keywords: photosynthesis, adaptation, salinity, proline, chlorophyll

Засоление является одним из самых губительных стрессов абиотической природы, влияющих на рост и развитие растений. В настоящее время около 20% орошаемых земель в мире подвержены засолению [1]. Растения, выращенные в условиях повышенного соленосодержания, испытывают разнообразные морфо-физиологические и биохимические изменения из-за гиперосмотического и осмотического стресса, что в свою очередь приводит к повреждению мембран, дисбалансу питательных веществ, падению

эффективности фотосинтеза, инактивации ферментов, нарушению продукции первичных и вторичных метаболитов [2].

Известно, что солевой стресс вызывает повреждение растений за счет изменения структуры клеточных органелл, таких как хлоропласты и митохондрии [3]. Высокая концентрация солей в почве приводит к набуханию и деградации оболочки тилакоидов и хлоропластов, что приводит к увеличению размера и количества пластоглобул [4, 5]. Повреждения в тилакоидах

вызываются прежде всего активными формами кислорода (АФК), продуцируемыми в листьях в результате засоления.

Минерализация среды влияет на физиологическую динамику фотосинтеза за счет снижения ассимиляции углерода, поскольку диффузия CO_2 в хлоропласты ограничена. Это происходит потому, что гипертонический стресс ведет к закрытию устьиц, чтобы поддержать тургорное давление воды в листе [6]. Чтобы смягчить стресс и ионный дисбаланс, вырабатываются АФК, что в дальнейшем приводит к закрытию устьиц [7]. Фотосистема I (ФСI) и Фотосистема II (ФСII), присутствующие в белковом комплексе реакционного центра, образуют большую часть АФК в хлоропласте при стрессе [8]. Активные формы кислорода до определенного уровня концентраций действуют как важные сигнальные молекулы, но если содержание превышает максимальный порог, то это вызывает окислительное повреждение белков, нуклеиновых кислот и липидов [9]. Установлено, что под действием засоления также снижается устьичная проводимость, содержание каротиноидов и хлорофилла в фасоли, хлопке [10], рисе [11], *Arabidopsis* [12, 13], табаке [14], ячмене [15], что приводит к снижению эффективности фотосинтеза.

В настоящей статье обобщены данные о влиянии солевого стресса на биоэнергетические процессы фотосинтеза.

Организация и функции фотосинтетического аппарата

Первичная реакция фотосинтеза начинается с фотохимической реакции, в ходе которой свет поглощается антеннами молекул пигментов (светособирающими комплексами), за которой следует перенос энергии электрона. Данная первичная реакция протекает в единицах фотосистем, расположенных в мембране тилакоидов хлоропласта. Ориентация антенн молекул хлорофилла *a*, *b*, β -каротиноидов, зеаксантина позволяет поглощать максимальное количество фотонов в данный момент времени. Освещение антенн молекул приводит к ее возбуждению, после чего происходит перенос электрона на хорошо упорядоченный белково-пигментный молекулярный комплекс, известный как фотохимический реакционный центр (ФРЦ) [16].

Пигменты хлорофилла играют ключевую роль в аккумуляции световой энергии. Было идентифицировано пять различных форм хлорофилла: Хл *a*, *b*, *c*, *d* и *f* [17]. Наличие различных форм хлорофилла позволяет организмам поглощать свет с различной длиной волны. Хлорофилл состоит из гетероциклического хлоринового коль-

ца, полученного из пиррола, с небольшими вариациями их боковой цепи. Любое изменение в боковой цепи путем замены или добавления может привести к изменению светопоглощения. В составе хлорофилла также содержится тетрапиррол магния, который улавливает свет, передает энергию возбуждения в реакционные центры, что дополнительно стимулирует реакцию разделения зарядов в реакционных центрах [18].

Фотосинтетические реакции традиционно делят на две фазы. Первая светозависимая фаза протекает в тилакоидной мембране хлоропласта. Когда световая энергия достигает реакционного центра через светособирающий комплекс, она возбуждает электрон, присутствующий в пигменте хлорофилла (P700) ФСII. Окисленный P700 восстанавливается и подвергается процессу, называемому цепной реакцией переноса электронов. Перенос электрона в электрон-транспортной цепи протекает по Z-образной схеме, поэтому он также широко известен как Z-модель транспорта электронов [19, 20]. Подсчитано, что в Z-модель цепной реакции переноса электронов вовлечено примерно двадцать промежуточных молекул [21]. Каждый этап в цепи переноса электронов снижает энергию возбужденного электрона, который превращается в другую форму энергии, то есть в АТФ и НАДФН. Между тем электроны, потерянные пигментом хлорофилла (P700) ФСII, генерируются обратно путем расщепления молекул воды на атом кислорода, электрон и протон в ФСII. Образующийся кислород выделяется из устьиц листа [22, 23].

Вторая светонезависимая фаза протекает в строме хлоропласта. Именно в этом процессе CO_2 фиксируется растениями для синтеза органических молекул. Некоторые побочные продукты и ферменты, такие как рибулозо-1,5-бисфосфат (РуБФ), 3-фосфоглицерат (3ФГА), глицеральдегид-3-фосфат (ГЗФ), 1,3-бисфосфоглицерат, карбоксилаза/оксигеназа РуБФ (Рубиско), транскетолаза, и эпимераза, являются вовлеченными в этот процесс. Реакция представляет собой циклический процесс, состоящий из 11 стадий, в которых РуБФ претерпевает серию окислительно-восстановительных изменений, которые позже снова регенерируются для продолжения цикла. Этот процесс в целом делится на три основных этапа; первый этап – фиксации углерода, представляет собой процесс, в котором РуБФ (молекула из пяти атомов углерода) ассимилирует CO_2 с помощью фермента Рубиско. При добавле-

нии CO_2 к РуБФ образуются две стабильные молекулы с тремя атомами углерода, т.е. ЗФГА. Кроме того, ЗФГА фосфорилируется и восстанавливается до ГЗФ (этап восстановления), который является предшественником углеводов. Эти первые две стадии, этапы фиксации и восстановления углерода, управляются АТФ и НАДФН, образующимися во время световой реакции фазы фотосинтеза в электрон-транспортной цепи. На заключительном этапе регенерации ГЗР преобразуется обратно в РуБФ [24]. Этот цикл реакции также известен как цикл Кальвина – Бенсона – Бэсшема.

Под действием повышенной солености у растений изменяется энергетический обмен. Закрытие устьиц, инициируемое снижением доступности CO_2 , приводит к снижению скорости протекания некоторых процессов, главным образом фотосинтеза.

Влияние солевого стресса на фотосинтез

Несколько исследований, посвященных фотосинтезу и засолению, привели к пониманию того, что растения обычно реагируют на засоление, снижая скорость фотосинтеза [13, 25, 26]. Это происходит из-за нескольких молекулярных изменений, которые инициируются на физиологическом уровне и отражаются морфологически.

Хорошо известно, что солевой стресс вызывает ультраструктурные повреждения, изменяя структуру клеточных органелл, таких как хлоропласты и митохондрии [3]. Повышенная концентрация соли вызывает набухание и деградацию оболочки тилакоидов и хлоропластов, а также дополнительно увеличивает размер и количество пластоглобул. Это в конечном счете вызывает разрушение скопления гран [27]. Выраженность засоления можно наблюдать, анализируя уровни организации тилакоидов, набухание зернистых компартментов внутри хлоропласта. Повреждение тилакоида вызывается в первую очередь АФК, образующимися в листьях при засолении. Высокая соленость у риса приводит к некоторым искажениям структуры хлоропластов, а также вызывает скручивание ламеллярной системы, накопление липидных капель и отчетливых «нитей Гехта» между плазмалеммой и клеточной стенкой. Соленость также вызывает полное изменение структуры белка тилакоидной мембраны. Было показано, что около 40% белка D1 (белок тилакоидной мембраны) теряется при засолении, что приводит к ингибированию активности ФСII [28].

В условиях солевого стресса в высших растениях содержание хлорофилла снижается у восприимчивых к соли растений, таких как картофель [29], горох [30], *Malus*

halliana и *Malus robusta* [31]. Однако у солеустойчивых растений, таких как горчица [32] и пшеница [33], содержание хлорофилла было повышено.

В экспериментах на *Lemna gibba* было показано, что высокие концентрации соли (400 мМ NaCl) подавляли активность ФСI и ФСII и приводили к нарушению электрон-транспортной цепи [8]. Задержка переноса электронов между комплексом марганца и пластохиноном через молекулы Q_A и Q_B (хиноны, принимающие электроны от хлорофиллов в фотосистеме II) приводит к образованию АФК, известному также как окислительный взрыв. Это вызывает дальнейшее повреждение ФС II и препятствует фотосинтезу [34, 8]. В ответ на 300 мМ NaCl культивируемый ячмень *Hordeum vulgare* показал активацию белков, связанных с повреждением тканей, тогда как галофитный дикий ячмень *Hordeum marinum* демонстрировал сверхэкспрессию белков, связанных с активной акклиматизацией: белков, участвующих в метаболизме АТФ, фотосинтезе, окислительно-восстановительных реакциях и ферментах, удаляющих АФК [35]. Точно так же транскрипты генов, кодирующих белки, участвующие в фотосинтетическом переносе электронов, метаболизме углерода и биосинтезе хлорофилла, активировались 100 мМ NaCl в *Atriplex canescens* [36], что указывает на ключевую роль этих белков в устойчивости к соли. Более того, протеомный профиль двух сортов риса, контрастирующих по солеустойчивости, показал, что белки, связанные с фотосинтезом и энергетическим обменом, в избытке экспрессировались только у солеустойчивого сорта в условиях солевого стресса [37]. Соответственно, белки комплекса цитохрома b6f, реакционного центра ФСI и АТФ-синтазы хлоропластов изменяются в ответ на солевой стресс, что указывает на то, что эти изменения в большом количестве могут модулировать эффективность переноса электронов и трансмембранные электрохимические протонные градиенты, тем самым влияя на образование НАДФН, синтез АТФ и тепловыделение при стрессе [38–40].

Большинство растений в стрессовых условиях увеличивают клеточную концентрацию осмотически активных соединений. Они смягчают ингибирующее действие высоких концентраций ионов на активность ферментов. Аминокислоты и некоторые производные аминокислот, сахара, ациклические и циклические полиолы, фруктаны и четвертичные аминок-, эктоиновые и сульфониевые соединения действуют как совместимые растворенные вещества [41]. Со-

вместимые растворенные вещества играют осморегуляторную функцию, которая накапливается в ответ на осмотический стресс, в то время как некоторые растворенные вещества, такие как трегалоза, не реагируют на осмотический стресс, но защищают даже при низких концентрациях и могут действовать как осмопротекторы [42]. Низкая концентрация маннита в хлоропластах помогает уменьшить повреждение за счет образования гидроксильных радикалов, а другие совместимые растворенные вещества в высоких концентрациях снижают ингибирующее действие ионов на активность ферментов. Стабилизация белков, белковых комплексов или мембран и удаление кислородных радикалов являются основной функцией совместимых растворенных веществ. Засоление почвы или воды является одним из основных факторов стресса и может серьезно ограничить урожайность, особенно в засушливых и полузасушливых регионах. На рисунке представлены физиологические, биохимические и генетические реакции растений на солевой стресс.

Накопление пролина является обычной адаптивной реакцией на различные абиотические стрессы [44]. В ряде исследований показано, что метаболизм пролина оказывает комплексное влияние на раз-

витие, реакцию на стресс, и накопление пролина важно для устойчивости к определенным неблагоприятным условиям окружающей среды [45, 46]. Проллин концентрируется в цитозоле, хлоропластах, цитоплазме и вакуолях. Он играет важную функцию, такую как осмотическая регуляция, детоксикация активных форм кислорода, действует как антиоксидант, стабилизатор белков и белковых комплексов. В работе [47] отмечено значительно более высокое содержание пролина и глицин-бетаина в растениях, подвергшихся солевому стрессу (ЕС 16–20 dS/м), по сравнению с контролем. Проллин и глицин-бетаин обнаружены в солечувствительных сортах ячменя, внося существенный вклад в осмолярность клеток, компенсируя снижение цитозольного K⁺ [48]. Помимо своей роли в устойчивости к соли, пролин действует как сигнальная или регуляторная молекула для поддержания пулов метаболитов и окислительно-восстановительного баланса, а также контролирует экспрессию генов [45]. Глицин-бетаин, обнаруженный в хлоропластах, также играет важную роль в осмотической регуляции, защите тилакоидной мембраны, защите хлоропластов и системы фотосинтеза II (ФСII) в условиях стресса [49].



Формирование солеустойчивости на физиологическом, биохимическом и генетическом уровнях [43]

Солевой стресс отрицательно влияет на рост и развитие растений, в то время как растения развили регуляторные механизмы, которые позволяют им адаптироваться к этим неблагоприятным условиям. Так, подавление роста растений под действием солевого стресса происходит из-за снижения фотосинтеза. В свою очередь, замедление скорости роста в ответ на солевой стресс приводит к увеличению выживаемости растений. Формирование устойчивости к засолению является сложным процессом, реализующимся за счет физиологических, биохимических и молекулярных механизмов. Ключевую роль в этом процессе играют осмотическая адаптация, Na^+ обмен, индукция активности антиоксидантных ферментов и регуляторов роста растений. Клетки растений претерпевают большие изменения, чтобы реагировать и защищаться от солевого стресса. Растительные клетки активируют переносчики ионов и каналы для восстановления ионного баланса. В процессе переноса ионов удаление Na^+ , приток K^+ , Ca^{2+} помпа и обмен Na^+/H^+ важны для солеустойчивости растений. Кроме того, стратегии снижения осмотического и окислительного стресса также используются для растений в условиях засоления.

Приведенные выше исследования показывают, что солевой стресс проявляет различное тормозящее влияние на биоэнергетические процессы фотосинтеза, подавляя раскрытие устьиц, препятствуя ассимиляции CO_2 , блокируя электрон-транспортную цепь, внося изменения в экспрессию генов, связанных со стрессом. Фотосинтез напрямую влияет на развитие и урожайность растений, в связи с чем особую актуальность представляет изучение механизмов адаптации (способность противостоять фотоокислительному повреждению, специализированные системы для защиты фотосинтетического аппарата) к стрессу у солеустойчивых сортов.

Список литературы

1. Qadir M., Quill rou E., Nangia V., Murtaza G., Singh M., Thomas R.J., Drechsel P., Noble A. D. Economics of salt-induced land degradation and restoration. *Natural Resources Forum*. 2014. Vol. 38. P. 282–295. DOI: 10.1111/1477-8947.12054.
2. Negr o S., Schm ckel S.M., Tester M. Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. *Annals of Botany*. 2017. Vol. 119. No. 1. P. 1–11. DOI:10.1093/aob/mcw191.
3. Bast as E., Gonz lez-Moro M.B., Gonz lez-Murua C. Interactive effects of excess boron and salinity on histological and ultrastructural leaves of *Zea mays* amyloperla from the Lluta Valley (Arica – Chile). *Ciencia e investigaci n agraria*. 2013. Vol. 40. No. 3. P. 581–595.
4. Lee M.H., Cho E.J., Wi S.G., Bae H., Kim J.E., Cho J., Lee S., Kim J., Chung B.Y. Divergences in morphological changes and antioxidant responses in salt-tolerant and salt-sensitive rice seedlings after salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2013. Vol. 70. P. 325–35. DOI: 10.1016/j.plaphy.2013.05.047.
5. Meng F., Luo Q., Wang Q., Zhang X., Qi Z., Xu F., Lei X., Cao Y., Chow W.S., Sun G. Physiological and proteomic responses to salt stress in chloroplasts of diploid and tetraploid black locust (*Robinia pseudoacacia* L.). *Scientific Reports*. 2016. Vol. 6. No. 23098. P. 1–15. DOI: 10.1038/srep23098.
6. Gupta B., Huang B. Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization. *International Journal of Genomics*. 2014. Vol. 40. P. 1–18. DOI: 10.1155/2014/701596.
7. Das P., Nutan K.K., Singla-Pareek S.L., Pareek A. Oxidative environment and redox homeostasis in plants: dissecting out significant contribution of major cellular organelles. *Frontiers in Environmental Science*. 2015. Vol. 2. No. 70. P. 1–11. DOI: 10.3389/fenvs.2014.00070.
8. Oukarroum A., Bussotti F., Goltsev V., Kalaji H. Correlation between reactive oxygen species production and photochemistry of photosystems I and II in *Lemma gibba* L. plants under salt stress. *Environmental and Experimental Botany*. 2015. Vol. 109. P. 80–88. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2014.08.005.
9. Schieber M., Chandel N.S. ROS function in redox signaling and oxidative stress. *Current Biology*. 2014. Vol. 24. No. 10. P. 453–462. DOI: 10.1016/j.cub.2014.03.034.
10. Brugnoli E., Lauteri M. Effects of salinity on stomatal conductance, photosynthetic capacity, and carbon isotope discrimination of salt tolerant (*Gossypium hirsutum* L.) and salt-sensitive (*Phaseolus vulgaris* L.) C3 non-halophytes. *Plant Physiology*. 1991. Vol. 95. No. 2. P. 628–635. DOI: 10.1104/pp.95.2.628.
11. Lakra N., Kaur C., Anwar K. Singla-Pareek S.L., Pareek A. Proteomics of contrasting rice genotypes: Identification of potential targets for raising crops for saline environment. *Plant Cell and Environment*. 2017. Vol. 41. No. 5. P. 947–969. DOI: 10.1111/pce.12946.
12. Yu Y., Assmann S.M. The effect of NaCl on stomatal opening in *Arabidopsis* wild type and agb1 heterotrimeric G-protein mutant plants. *Plant Signaling and Behavior*. Vol. 11. No. 2. 2016. P. 1–3. DOI: 10.1080/15592324.2015.1085275.
13. Tripathi A.K., Pareek A., Singla-Pareek S.L. A NAP-family histone chaperone functions in abiotic stress response and adaptation. *Plant Physiology*. 2016. Vol. 171. No. 4. P. 2854–2868. DOI: 10.1104/pp.16.00408.
14. Shabala S., Cuin T.A., Prissal L., Nemchinov L.G. Expression of animal *CED-9* anti-apoptotic gene in tobacco modifies plasma membrane ion fluxes in response to salinity and oxidative stress. *Planta*. 2007. Vol. 227. P. 189–197. DOI: 10.1007/s00425-007-0606-z.
15. Liu X., Fan Y., Mak M., Babla M., Holford P., Wang F., Chen G., Scott G., Wang G., Shabala S., Zhou M., Chen Z.-H. QTLs for stomatal and photosynthetic traits related to salinity tolerance in barley. *BMC Genomics*. 2017. Vol. 18. P. 1–13. DOI: 10.1186/s12864-016-3380-0.
16. Senge M.O., Ryan A.A., Letchford K.A., MacGowan S.A., Mielke T. Chlorophylls, symmetry, chirality, and photosynthesis. *Symmetry*. 2014. Vol. 6. No. 3. P. 781–843. DOI: 10.3390/sym6030781.
17. Willows R.D., Li Y., Scheer H., Chen M. Structures of chlorophyll f. *Organic Letters*. 2013. Vol. 15. No. 7. P. 1588–90. DOI: 10.1021/ol400327j.
18. Chen M. Chlorophyll modifications and their spectral extension in oxygenic photosynthesis//Annual Review of Biochemistry. 2014. Vol. 83. P. 317–340. DOI: 10.1146/annurev-biochem-072711-162943.
19. Hill R., Bendall F. Function of the two cytochrome components in chloroplasts: A working hypothesis. *Nature*. 1960. Vol. 186. P. 136–137. DOI: 10.1038/186136A0.
20. Yamori W., Shikanai T. Physiological functions of cyclic electron transport around photosystem I in sustaining photosynthesis and plant growth. *Annual Review*

- of Plant Biology. 2016. Vol. 67. P. 81–106. DOI: 10.1146/annurev-arplant-043015-112002.
21. Mohapatra P.K., Singh N.R. Teaching the Z-Scheme of electron transport in photosynthesis: a perspective. *Photosynthesis Research*. 2015. Vol. 123. P. 105–114. DOI: 10.1007/s1120-014-0034-4.
22. Arnon D.I. The light reactions of photosynthesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 1971. Vol. 68. No. 11. P. 2883–2892. DOI: 10.1073/pnas.68.11.2883.
23. Govindjee, Shevela D., Björn L.O. Evolution of the Z-scheme of photosynthesis: a perspective. *Photosynthesis Research*. 2017. Vol. 133. P. 5–15. DOI: 10.1007/s1120-016-0333-z.
24. Biel K., Fomina I. Benson-Bassham-Calvin cycle contribution to the organic life on our planet. *Photosynthetica*. 2015. Vol. 53. P. 161–167. DOI: 10.1007/s11099-015-0112-7.
25. Joshi R., Sahoo K.K., Tripathi A.K., Singla-Pareek S. L. Knockdown of an inflorescence meristem specific cytokinin oxidase-*OsCKX2* in rice reduces yield penalty under salinity stress condition. *Plant Cell and Environment*. 2017. Vol. 41. No. 5. P. 936–946. DOI: 10.1111/pce.12947.
26. Gupta B.K., Sahoo K.K., Ghosh A., Tripathi A.K., Anwar K., Das P., Singla-Pareek S.L. Manipulation of glyoxalase pathway confers tolerance to multiple stresses in rice // *Plant Cell and Environment*. 2017. Vol. 41. No. 5. P. 1186–1200. DOI: 10.1111/pce.12968.
27. Meng F., Luo Q., Wang Q., Zhang X., Qi Zh., Xu F., Lei X., Cao Yu., Chow W.S., Sun G. Physiological and proteomic responses to salt stress in chloroplasts of diploid and tetraploid black locust (*Robinia pseudoacacia* L.). *Scientific Reports*. 2016. Vol. 6. P. 1–15. DOI: 10.1038/srep23098.
28. Sudhir P.R., Pogoryelov D., Kovacs L., Garab G., Murthy S. The effects of salt stress on photosynthetic electron transport and thylakoid membrane proteins in the cyanobacterium *Spirulina platensis*. *Journal of Biochemistry and Molecular Biology*. 2005. Vol. 38. No. 4. P. 481–485.
29. Abdullah Z., Ahmed R. Effect of pre and post kinetin treatment on salt tolerance of different potato cultivars growing on saline soils. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 1990. Vol. 165. P. 94–102. DOI: 10.1111/j.1439-037X.1990.tb00839.x.
30. Hamada A.M., El-Enan A.E. Effect of NaCl salinity on growth, pigment and mineral element contents, and gas exchange of broad bean and pea plants. *Biologia Plantarum*. 1994. Vol. 36. P. 75–81. DOI: 10.1007/BF02921273.
31. Zhu Y.-F., Wu Y.-X., Hu Y., Jia X.-M., Zhao T., Cheng L., Wang Y.-X. Tolerance of two apple rootstocks to short-term salt stress: focus on chlorophyll degradation, photosynthesis, hormone and leaf ultrastructures. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2019. Vol. 41. No. 6. P. 1–14. DOI: 10.1007/s11738-019-2877-y.
32. Singh M.P., Pandey S.K., Singh M., Ram P.C., Singh B.B. Photosynthesis, transpiration, stomatal conductance and leaf chlorophyll content in mustard genotypes grown under sodic conditions. *Photosynthetica*. 1990. Vol. 24. No. 4. P. 623–627.
33. Kulshreshtha S., Mishra D.P., Gupta R.K. Changes in contents of chlorophyll, proteins and lipids in whole chloroplasts and chloroplast membrane fractions at different water potential in drought resistant and sensitive genotypes of wheat. *Photosynthetica*. 1987. Vol. 21. No. 1. P. 65–70.
34. Sharma P., Jha A.B., Dubey R.S., Pessarakli M. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of Botany*. 2012. Vol. 2012. P. 1–27. DOI: 10.1155/2012/217037.
35. Marsalova L., Vitamvas P., Hynek R., Prasil I.T., Kosova K. Proteomic response of *Hordeum vulgare* cv tadmor and *Hordeum marinum* to salinity stress: similarities and differences between a glycophyte and a halophyte. *Frontier in Plant Science*. 2016. Vol. 7. P. 1–19. DOI: 10.3389/fpls.2016.01154.
36. Guo H., Zhang L., Cui Y., Wang S., Bao A. Identification of candidate genes related to salt tolerance of the secretehalophyte *Atriplex canescens* by transcriptomic analysis. *BMC Plant Biology*. 2019. Vol. 19. P. 1–17. DOI: 10.1186/s12870-019-1827-6.
37. Frukha A., Siddiqi T.O., Khan M.I.R., Ahmad A. Modulation in growth, biochemical attributes and proteome profile of rice cultivars under salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2020. Vol. 146. P. 55–70. DOI: 10.1016/j.plaphy.2019.11.011.
38. Sobhanian H., Razavizadeh R., Nanjo Y., Ehsanpour A.A., Jazii F.R., Motamed N., Komatsu S. Proteome analysis of soybean leaves, hypocotyls and roots under salt stress. *Proteome Science*. 2010. Vol. 8. No. 19. P. 1–15. DOI: 10.1186/1477-5956-8-19.
39. Yu J., Chen S., Zhao Q., Wang T., Yang C., Diaz C., Sun G., Dai S. Physiological and proteomic analysis of salinity tolerance in *Puccinellia tenuiflora*. *Journal of Proteome Research*. 2011. Vol. 10. No. 9. P. 3852–3870. DOI: 10.1021/pr101102p.
40. Zhang H., Han B., Wang T., Chen S., Li H., Zhang Y., Dai S. Mechanisms of plant salt response: insights from proteomics. *Journal of Proteome Research*. 2012. Vol. 11. P. 49–67. DOI: 10.1021/pr200861w.
41. Suprasanna P., Teixeira da Silva J.A., Bapat V.A. Plant abiotic stress, sugars and transgenics: a perspective. In: *Floriculture, ornamental and plant biotechnology: advances and topical issues*; Teixeira da Silva JA (Ed). Global Science Publishers, London, UK. 2005. P. 86–93.
42. Slama I., Abdely C., Bouchereau A., Flowers T., Savour A. Diversity, distribution and roles of osmoprotective compounds accumulated in halophytes under abiotic stress. *Annals of Botany*. 2015. Vol. 115. No. 3. P. 433–447. DOI: 10.1093/aob/mcu239.
43. De Oliveira B.D.O., Nara L.M.A., Eneas G.-F. Comparison between the water and salt stress effects on plant growth and development. *Responses of organisms to water stress*. 2013. P. 67–94. DOI: 10.5772/54223.
44. Ramakrishna A., Gokare A.R. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant signaling and behavior*. 2011. Vol. 6 No. 11. P. 1720–1731. DOI: 10.4161/psb.6.11.17613.
45. Szabados L., Savoure A. Proline: a multifunctional amino acid. *Trends in Plant Science*. 2009. Vol. 15. No. 2. P. 89–97. DOI: 10.1016/j.tplants.2009.11.009.
46. Suprasanna P., Rai A.N., Hima Kumari P., Kumar S.A., Kavi Kishor P.B. Modulation of proline: implications in plant stress tolerance and development. *Plant Adaptation to Environmental Change* (eds N.A. Anjum, S.S. Gill and R. Gill) CABI Publishers, UK. 2014. Chapter 5. P. 68–93. DOI: 10.1079/9781780642734.0000.
47. Muchate N.S., Nikalje G.C., Rajurkar N.S., Suprasanna P., Nikam T.D. Physiological responses of the halophyte *Sesuvium portulacastrum* to salt stress and their relevance for saline soil bio-reclamation. *Flora – Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*. 2016. Vol. 224. P. 96–105. DOI: 10.1016/j.flora.2016.07.009.
48. Zhonghua C., Tracey A.C., Meixue Z., Amanda T., Naidu B.P., Sergey S. Compatible solute accumulation and stress-mitigating effects in barley genotypes contrasting in their salt tolerance. *Journal of Experimental Botany*. 2007. Vol. 58. P. 4245–4255. DOI: 10.1093/jxb/erm284.
49. Ashraf M., Harris P.J.C. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science*. 2004. Vol. 166. P. 3–16. DOI: 10.1016/j.plantsci.2003.10.024.

СТАТЬИ

УДК 57:612.273.2:612.68

**ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ОРГАНИЗМА
ПРИ КОНТРОЛИРУЕМОМ УМЕРЕННОМ ДЫХАНИИ**^{1,2}Шушков С.В.¹Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси, Минск;²ООО «Перспективные исследования и технологии», Минск, e-mail: shushkov_s_v@mail.ru

Рассматривается реакция организма человека и в целом млекопитающих животных на умеренное гипоксическое воздействие. Для млекопитающих разного размера обсуждается интенсивность метаболизма в зависимости от потребления кислорода O_2 при дыхании, предложена диаграмма для сравнения особенностей энергетического баланса. Обращается внимание на связь относительного долголетия для *Heterocephalus glaber* от условий их обитания при постоянном умеренном кислородном дефиците. Делается вывод, что умеренное дыхание указывает на возможность применения контролируемой гипоксии для регенерации биоструктур и активизации процессов тканевого (клеточного) дыхания. Устойчивость к заболеваниям выводится из термодинамического рассмотрения по газоразрядной аналогии. Увеличение числа возможных энергетических сценариев при варьировании потребления кислорода отмечается как повышение иммунитета. Для биосистем в качестве критерия поддержания жизни принимается производство свободной энергии. Выводится рост степени неравновесности при условии гипоксического расслабления. В качестве одного из основных факторов, влияющих на скорость старения, принимается накопление дефектов в организме. Нарушения биоструктуры препятствуют нормальному протеканию энергетического потока и вызывают формирование энергоградиентов вплоть до критической величины. Принимается, что накоплению дефектов противодействуют процессы регенерации, эффективность которых зависит от режима потребления кислорода O_2 . Активизации процессов восстановления способствует периодическое воздействие на организм умеренной гипоксии. Практически предлагается использование дыхательного тренинга в виде искусственно стимулируемой «произвольной зевоты». Отмечается, что при регулярном выполнении гипоксических процедур можно рассчитывать на замедление интенсивности накопления дефектов, вплоть до устранения проблемных зон. Приводится оценка влияния периодических упражнений с умеренным кислородным дефицитом на продолжительность жизни человека.

Ключевые слова: контролируемое умеренное дыхание, устойчивость биоструктур к перерождению, гипоксическая процедура, долголетие

**THE REGENERATIVE POTENTIAL OF THE ORGANISM
WITH CONTROLLED MODERATE RESPIRATION**^{1,2}Shushkov S.V.¹Heat and Mass Transfer Institute named after A.V. Lykov of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk;²LLC "Advanced Research and Technology", Minsk, e-mail: shushkov_s_v@mail.ru

The reaction of the human organism and in general for mammalian animals to moderate hypoxic effects is considered. For mammals of different sizes, the intensity of metabolism is discussed depending on the consumption of oxygen O_2 during respiration, a diagram is proposed to compare the features of the energy balance. Attention is drawn to the relationship between relative longevity for *Heterocephalus glaber* and their habitat conditions under constant moderate oxygen deficiency. It is concluded that moderate breathing indicates the possibility of using controlled hypoxia to regenerate biostructures and activate the processes of tissue (cellular) respiration. Resistance to diseases is derived from a thermodynamic consideration by a gas-discharge analogy. An increase in the number of possible energy scenarios with varying oxygen consumption is noted as an increase in immunity. For biosystems, the production of free energy is accepted as a criterion for maintaining life. An increase in the degree of disequilibrium is deduced under the condition of hypoxic relaxation. Violations of the biostructure prevent the normal flow of energy flow and cause the formation of energy gradients up to a critical value. It is assumed that the accumulation of defects is counteracted by regeneration processes, the effectiveness of which depends on the mode of oxygen consumption of O_2 . Periodic exposure to moderate hypoxia contributes to the activation of recovery processes. In practice, the use of breathing training in the form of artificially stimulated "arbitrary yawning" is proposed. It is noted that with regular hypoxic procedures, one can count on slowing down the intensity of accumulation of defects, up to the elimination of problem areas. An assessment of the effect of periodic exercises with moderate oxygen deficiency on human life expectancy is given.

Keywords: controlled moderate respiration, resistance of biostructures to rebirth, hypoxic procedure, longevity

Поступающий с дыханием в организм кислород O_2 определяет энергетические возможности биологических существ. Каждому виду млекопитающих присуща своя интенсивность дыхательного метаболизма: мышцы потребляют до 900 мм³ кислоро-

да O_2 за час на 1 г веса, слон около сотни; для человека этот параметр составляет ~ 200 мм³ $O_2 \cdot г^{-1} \cdot ч^{-1}$ [1].

Пребывание в атмосфере с пониженной концентрацией кислорода стимулирует процессы адаптации к гипоксии, что при на-

учно обоснованном методическом применении создает условия для оздоровления и активного долголетия [2].

Из газоразрядной аналогии для неравно-весных систем полагается, что интенсивность кислородного обмена влияет на устойчивость организма к заболеваниям энергетической природы [3]. Тем самым контролируемое умеренное дыхание способно увеличить восстановительный потенциал организма.

Цель – исследовать влияние умеренного дефицита кислорода на состояние человеческого организма с точки зрения термодинамического подхода.

Особенности потребления энергоресурсов для различных биоорганизмов

Зависимости потребления кислорода O_2 при дыхании возможно связать с некоторыми энергетическими закономерностями [4]. При этом интенсивность метаболизма представляется по энергонасыщенности V и потреблению энергоресурсов i в организме человека и различных по размерам животных как ряд зависимостей $V(i)$ (рис. 1).

Для сравнения весьма различающихся биоорганизмов величины V и i могут быть рассмотрены для единичного объема, в условно подобных точках внутри тела и схожей биоткани, к примеру мышечной.

Энергонасыщенность V представляет как возможность совершения работы, или «активность». Тем самым V может опре-

деляться, например, как сумма тепловых эффектов реакций (химической индукции и каталитических ферментативных), характерных для рассматриваемой биоструктуры, в данном объеме за единицу времени.

Потребление ресурсов i рассматривается преимущественно в аспекте дыхания, и для выделенного объема пропорционально потоку кислорода O_2 через него. Абсолютное потребление кислорода O_2 различными млекопитающими растет при увеличении массы тела. В соответствии с зависимостью [1], за час кролик усваивает несколько литров кислорода, человек 10–20 л, слон 400–500 л, и поток O_2 из глубины тела наружу через выбранный объем больше для массивного животного.

В рассматриваемой области энергия потока i частично расходуется, и произведение $(V \cdot i)$ можно считать пропорциональным плотности выделяющейся мощности W .

В обычном нормальном состоянии относительного спокойствия (линия N) организм млекопитающих пребывает преимущественное время. Умеренное и далее глубокое гипоксическое состояние наступает по мере снижения количества поступающего в организм кислорода O_2 (линия G). Состояние воспаления и начала перерождения биотканей соответствует энерговыделению, превышающему критическое $W_{cr} = V_{cr} \cdot i_{cr} = const$ (линия C).

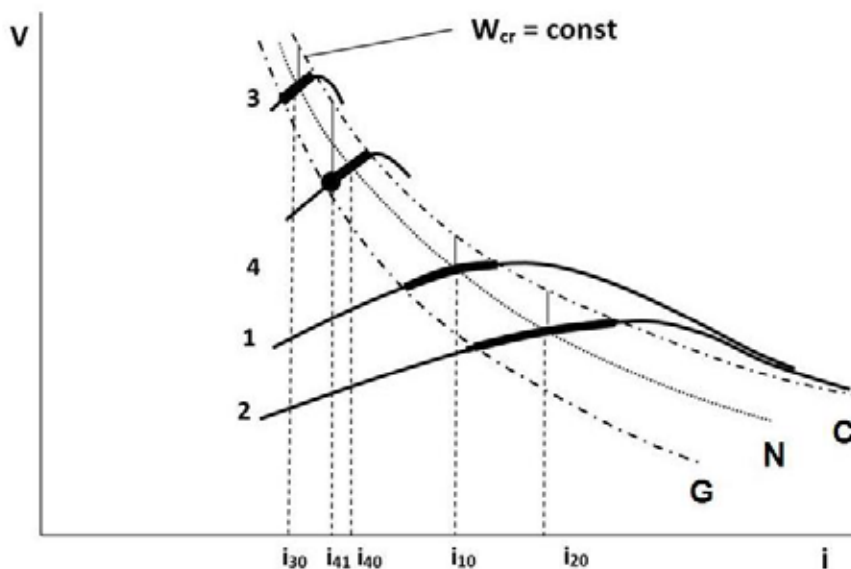


Рис. 1. Характеристики энергонасыщенности (активности) V для различных биоорганизмов в зависимости от потребляемых энергоресурсов i . N – нормальное состояние различных млекопитающих, G – гипоксическое состояние, C – граница критического перерождения биоструктур. 1 – человек, 2 – крупное млекопитающее, 3 – мелкое млекопитающее, 4 – млекопитающее *Heterocephalus glaber* («голый землекоп»)

Коридор жизненных состояний по величине удельного потребления кислорода i закономерно увеличивается от мелких к крупным млекопитающим (область между G и C).

Устойчивость биоструктур различных млекопитающих

Для каждого вида можно говорить о запасе устойчивости ζ биоструктур по отношению к их перерождению [4]. При появлении дефекта и торможения на нем энергопотока величина V может нарастать, приводя к образованию энергетической ступеньки – «градиента». Физиологически градиент проявляется в виде области из воспаленной биоткани, в которой повышается энерговыделение за счет, например, термогенеза.

Оценочно для конкретного уровня потребления кислорода i значение ζ соответствует разнице в энергонасыщенности V , определяющей переход от состояния на зависимости $V(i)$ до линии C критического энерговыделения W_{cr} . С эволюционной точки зрения, ввиду сходной белковой структуры биоорганизмов, в обычном N состоянии величина ζ должна быть близкой по величине у различных млекопитающих, например для человека при i_{10} для крупного млекопитающего при i_{20} и мелкого при i_{30} (рис. 1, вертикальные сплошные линии).

У мелких млекопитающих интенсивность метаболизма в организме выше, что при появлении проблемной области провоцирует быстрое формирование энергоградиента. К тому же мелкие животные, как правило, чаще подвергаются стрессовым обстоятельствам, например угрозе жизни. Оба фактора соответствуют смещению вдоль энергетической зависимости $V(i)$ от N к линии C , и при нахождении в данном состоянии запас устойчивости ζ снижается.

Тем самым чисто термодинамические условия функционирования организма млекопитающего накладываются на статистику его поведенческих особенностей. Например, процент онкологической патологии в популяции оказывается меньшим для крупных животных, таких как слоны или киты [5].

Млекопитающие «голые землекопы», обитающие в норах под землей, практически постоянно находятся в условиях пониженной концентрации кислорода [6]. Поэтому на зависимости 4 (рис. 1) выделенная точка обычного состояния *Heterocephalus glaber* располагается левее кривой N , характеризующей прочих млекопитающих, и соответствует потреблению кислорода i_{41} вместо условно нормального i_{40} . Это обычное для «землекопов» умеренное гипоксическое состояние имеет повышенный запас устойчивости ζ , характеризуется возможностью репарации и регенерации биоструктур, ре-

зистентностью к онкологическим заболеваниям [7, 8]. В то же время у «землекопов», извлеченных в неестественные условия зоопарка или лаборатории, опухолеобразование становится возможным [9].

Постоянное легкое кислородное голодание в перспективе способствует долголетию: «голые землекопы» живут до 30 лет и более, что на порядок превышает продолжительность жизни равновеликих им млекопитающих.

Энергетические зависимости для живых организмов, отличающихся строением от млекопитающих, должны быть соответственно смещены. Например, ввиду менее интенсивного удельного метаболизма для хладнокровных животных гипербола W_{cr} должна располагаться ближе к началу координат (V, i) .

Теории активного долголетия

В настоящее время широко известны гипотезы, указывающие в качестве причин старения изменения в генетическом аппарате, накопление мутаций, бактериальную интоксикацию, свободные радикалы [10]. Так, в подходе академика В.П. Скулачева старость представляется наступлением состояния, когда в организме число отмирающих клеток начинает превышать количество рождающихся, чему можно противодействовать повышением устойчивости клеточных структур, в особенности митохондрий [11, 12].

Влияние умеренного гипоксического воздействия на физиологические процессы в организме

Ввиду большей крутизны зависимости $V(i)$ при малых i , изменению Δi соответствует значительный отклик по энергонасыщенности ΔV . Тем самым небольшие управляющие воздействия способны произвести значительную реконструкцию в биотканях.

Разнообразие возможных энергетических процессов обеспечивает адекватную реакцию организма к отклонению гомеостаза и внешним воздействиям, что означает повышенную эффективность иммунной системы защиты именно в состоянии гипоксического расслабления. Характерными являются активизация гипоксией индуцируемого фактора (HIF) и его влияние на иммунитет [13].

В физиологическом плане при контролируемом умеренном потреблении O_2 происходит активизация внутриклеточного (тканевого) дыхания.

Термодинамика жизненных процессов в аспекте долголетия

Пределы роста и изменчивости каждого млекопитающего ограничены особенностями его структурной организации. Ввиду

неуклонно провоцируемых внешней средой дефектов в организме, для поддержания жизни синтез ключевых биоструктур должен происходить опережающим темпом. В организме непрерывно осуществляется превращение получаемой из пищи энергии U в свободную энергию G и в связанную Q , так что $U = G + Q$. Свободная энергия G после производства структурных преобразований в организме и совершения работы переходит в связанную форму Q и в итоге выделяется в виде тепла.

Можно принять, что для высокоорганизованного человеческого организма жизнь поддерживается, пока происходит производство энергии G_i , представляющей собой ту часть свободной энергии G , которая обеспечивает протекание реакций химической индукции для синтеза молекул АТФ, нуклеиновых кислот ДНК и других сложных биоструктур.

Степень неравновесности, взятая как отношение (G_i / U) , максимальна при рождении, поскольку в этот период имеет место активный рост и развитие органов (рис. 2). По прошествии времени, когда основные структуры организма сформированы и развиты, энергия требуется преимущественно для стабильного поддержания в них физиологических процессов. Так, интенсивность энергопотока в спокойном состоянии у новорожденных составляет $300 \text{ кДж} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$, в то время как у людей зрелого возраста – $120 \text{ кДж} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ [14]. С возрастом доля создающих процессов синтеза уменьшается, преобладающими остаются процессы потребления с участием ферментативных реакций. Соответственно, уменьшается число реакций химической индукции и снижается степень неравновесности. Когда величина (G_i / U) опускается ниже критической величины $(G_i / U)_{cr}$, определенной для каждого организма, жизнь прекращается.

При выполнении гипоксической процедуры, в состоянии кислородного дефицита и физической расслабленности, внутренняя энергия U в меньшей степени тратится на совершение физической работы и прочие процессы, определяющие связанную энергию Q . Степень неравновесности (G_i / U) несколько увеличивается, и ее влияние можно считать пролонгированным на продолжительный срок (кривая 1). Соответственно увеличивается доля свободной энергии G , направляемой на процессы синтеза, в том числе для целей регенерации.

В случае заболевания, имеющего энергетическую причину, в организме развиваются процессы, сдвигающие химическое равновесие к угнетению реакций индукции, и срок жизни сокращается (кривая 2).

Влияние гипоксических процедур на продолжительность жизни

Процедуры, позволяющие достичь умеренной гипоксии и физической релаксации в организме, обладают значительным восстановительным потенциалом.

С течением времени в тканях организма неизбежно накапливаются дефекты с интенсивностью N не менее определенной, например, ввиду наличия естественного радиоактивного фона. При накоплении некоторой критической плотности дефектов N^* наступает деградация и гибель организма, ввиду затрудненного энергопотока и снижения производства свободной энергии. Закон накопления дефектов имеет характерный экспоненциальный вид $N \sim N' \cdot \exp(A \cdot t)$, где N' – уровень дефектов при рождении (рис. 3). Временной коэффициент соответствует величине $A = \ln(N^*/N') / T$, где T – средняя продолжительность жизни, обусловленная наследственностью, условиями жизни, питания и т.д. Начальный уровень N' для любых биоорганизмов можно считать относительно невысоким по сравнению с критическим N^* .

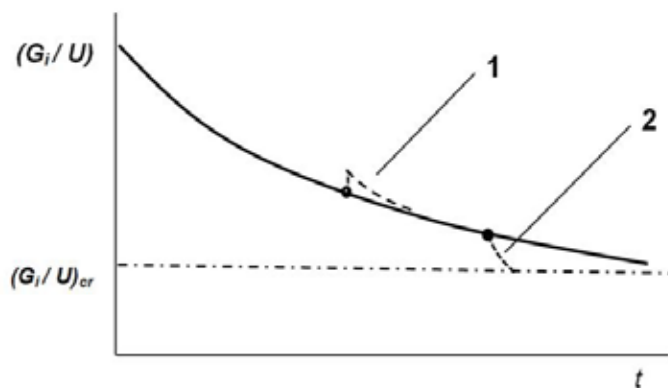


Рис. 2. Изменение степени неравновесности (G_i / U) человека в течение времени t жизни. 1 – случай выполнения одиночной гипоксической процедуры, 2 – проявление заболевания энергетической природы. $(G_i / U)_{cr}$ – критический для жизни уровень неравновесности

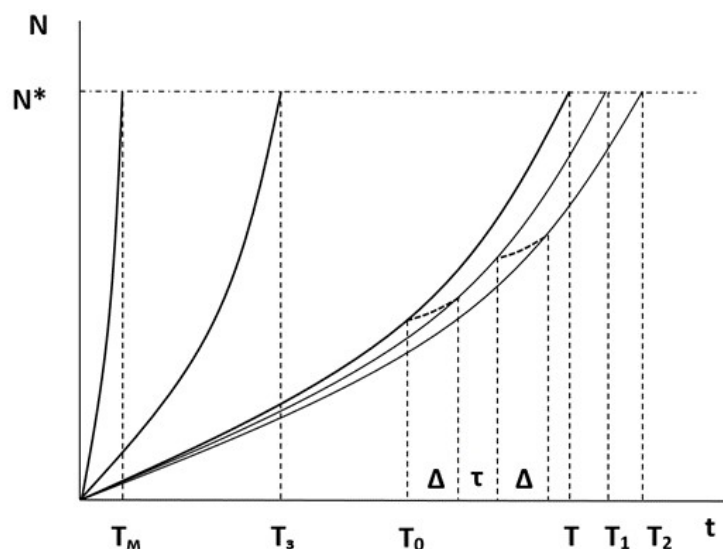


Рис. 3. Накопление числа дефектов N в организме в течение времени t жизни.
 N^* – критическая плотность дефектов в организме.

Продолжительность жизни: T_m – мышь, T_3 – «голый землекоп», T – человек. T_0 – начало гипоксического тренинга, T_1 – сдвиг линии жизни человека после выполнения одиночной гипоксической процедуры. Δ – время действия положительного эффекта от гипоксической процедуры, τ – промежуток между процедурами

Чтобы накопление деструктивных элементов не препятствовало протеканию энергопотоков в организме, требуется организовать по крайней мере периодические гипоксические восстановительные процедуры, которые воссоздадут функциональность биотканей с нарушенной структурой.

Для мелкого млекопитающего типа мыши продолжительность жизни составляет $T_m \sim 2-3$ года (рис. 3). В то же время схожий по размерам «голый землекоп» живет до $T_3 \sim 30$ лет. Если в данном случае эффект долгожительства отнести на счет умеренного кислородного голодания и связанной с этим реабилитационной активностью, то и для человеческого организма как подобной белковой структуры можно ожидать роста продолжительности жизни T при периодическом воздействии контролируемой гипоксии.

В условиях санатория или медицинского стационара возможность погружения в умеренную гипоксию доступна на оборудовании типа гипоксических камер или кабин. В повседневных условиях тренинг возможен в виде периодических дыхательных процедур, в частности «произвольного зевания», при которой путем продолжительной задержки дыхания после выдоха достигается умеренная гипоксия при эффективном расслаблении организма, а за счет замены вдоха зевком обеспечивается контроль оптимального режима [3].

Восстановительный эффект гипоксической процедуры

Можно представить, что умеренное гипоксическое воздействие восстанавливает часть дефектных биоструктур и уменьшает скорость накопления дефектов в организме, поскольку разрывает зависимость порождения одними дефектами других. При этом каждая выполненная гипоксическая процедура схематично переводит организм на «линию жизни» с большей продолжительностью.

Для наглядности удобно перестроить рис. 3 к полулогарифмическим координатам $\langle \ln N - t \rangle$, при этом экспоненциальные зависимости заменятся на прямые линии. Участок экспоненты за период Δ можно для оценки заменить горизонтальным отрезком, как если бы число дефектов оказалось зафиксированным в ходе процедуры. При этом прирост продолжительности жизни от одиночной гипоксической тренировки, рассматриваемый как переход организма из исходного состояния («линия жизни» T) в состояние с оздоровительным эффектом (линия T_1), можно оценить для этой первичной процедуры как $(T_1 - T) = T / T_0 \cdot \Delta$. Переход по линиям жизненного цикла $T \dots T_1 \dots T_2 \dots$ для оценки можно принять пропорциональным количеству процедур $n = (T - T_0) / (\Delta + \tau)$. В итоге к статистически ожидаемому сроку жизни T прирост

продолжительности за счет периодического выполнения дыхательных занятий составит

$$(T_n - T) \sim (T_1 - T) \cdot n = T \cdot (T/T_0 - 1) / (1 + \tau/\Delta).$$

К примеру, примем, что наследственная предрасположенность человека составляет $T \sim 70$ лет, гипоксические тренировки начались с возраста $T_0 = 20$ лет. Время продолженного влияния от гипоксической процедуры можно оценить величиной по крайней мере $\Delta = 1$ ч. Если периодичность тренинга составляет 1 раз в сутки, то $\tau \sim 23$ ч. При этих условиях можно ожидать прибавки продолжительности жизни $(T_n - T) \sim 7$ лет, или 10%.

Приведенная оценка в значительной мере условна, но демонстрирует основные тенденции повышения восстановительной способности организма через умеренные гипоксические процедуры.

При регулярном выполнении гипоксических процедур можно рассчитывать на эффект «тренированности» в виде снижения интенсивности накопления дефектов в организме.

Устойчивость биотканей к перерождению у млекопитающих зависит от метаболизма, определяемого интенсивностью дыхания. При этом на характер газообмена у различных видов млекопитающих существенно влияют их поведенческие особенности.

Умеренное гипоксическое состояние для человеческого организма способствует повышению устойчивости биоструктур. Условие гипоксического расслабления соответствует разнообразию возможных энергетических процессов в организме, что обеспечивает эффективную регенерацию тканей и активное долголетие.

В целях профилактики можно рассчитывать на периодическую гипоксическую дыхательную процедуру, в частности контролируемой «произвольной зевоты», обеспечивающую режим оптимального перехода в состояние восстановительной релаксации.

Оценочно в случае регулярного гипоксического тренинга для статистически предполагаемого срока жизни 70–80 лет можно ожидать увеличения периода активного долголетия на 10% и более.

Список литературы

1. Cornell University. BIOG 1445 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.biog1445.org/demo/04/metabolicrate.html> (дата обращения: 20.01.2022).
2. Гридин Л.А. Современные представления о физиологических и лечебно-профилактических эффектах действия гипоксии и гиперкапнии // Журнал «Медицина». 2016. Т. 4. № 3. С. 45–68.
3. Шушков С.В. Произвольная зевота как гипоксическая процедура // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2020. Вып. 77. С. 69–76. DOI: 10.36604/1998-5029-2020-77-69-76.
4. Шушков С.В. Газоразрядная аналогия для онкогенеза // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Сер. Естественные и технические науки. 2019. № 1. С. 27–35.
5. Abegglen L., Caulin A., Chan A., Lee K., Robinson R., Campbell M., Kiso W., Schmitt D., Waddell P., Bhaskara S., Jensen S., Carlo M., Schiffman J. Potential Mechanisms for Cancer Resistance in Elephants and Comparative Cellular Response to DNA Damage in Humans. *Journal of the American Medical Association*, 2015. Vol. 314. No. 17. P. 1850–1860.
6. Голый землекоп. [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Голый_землекоп (дата обращения: 20.01.2022).
7. Evdokimov A., Kutuzov M., Petrusheva I., Lukyanchikova N., Kashina E., Kolova E., Zemerova T., Romanenko S., Perelman P., Prokopov D., Seluanov A., Gorbunova V., Graphodatsky A., Trifonov V., Khodyreva S., Lavrik O. Naked mole rat cells display more efficient excision repair than mouse cells. *Aging (Albany NY)*. 2018. Vol. 10. P. 1454–1473. DOI: 10.18632/aging.101482.
8. Skulachev V., Holtze S., Vyssokikh M., Bakeeva L., Skulachev M., Morhart M., Markov A., Hildebrandt T., Sadovnichii V. Neoteny, prolongation of youth: from naked mole rats to “naked apes” (humans). *Physiological Reviews*. 2017. Vol. 97. No. 2. P. 699–720.
9. Delaney M.A., Ward J.M., Walsh T.F., Chinnaduraj S.K., Kerns K., Kinsel M.J., Treuting P.M. Initial Case Reports of Cancer in Naked Mole-rats (*Heterocephalus glaber*). *Veterinary Pathology*. 2016. Vol. 53. No. 3. DOI: 10.1177/0300985816630796.
10. Котовская Ю.В., Ткачева О.Н., Рунихина Н.К., Каштанова Д.А., Бойцов С.А. Изучение долгожительства: современный статус проблемы и перспективы // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2017. Т. 16. № 3. С. 75–80. DOI: 10.15829/1728-8800-2017-3-75-80.
11. Vyssokikh M.Y., Holtze S., Averina O.A., Lyamzaev K.G., Panteleeva A.A., Marey M.V., Zinovkin R.A., Severin F.F., Skulachev M.V., Fasel N., Hildebrandt T.B., Skulachev V.P. Mild depolarization of the inner mitochondrial membrane is a crucial component of an anti-aging program. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. 2020. P. 201916414. DOI: 10.1073/pnas.1916414117.
12. Скулачев В.П., Скулачев М.В., Фенюк Б.А. Жизнь без старости. М.: Эксмо, 2013. 256 с.
13. Palazon A., Goldrath A.W., Nizet V., Johnson R.S. HIF transcription factors, inflammation, and immunity. *Immunity*. 2014. Vol. 41. No. 4. P. 518–528.
14. Медицинская физика / Гомельский гос. мед. ун-т [Электронный ресурс]. URL: <https://studfile.net/preview/5243880/page:15/> (дата обращения: 20.01.2022).

УДК 57.083.132

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛИСИТОРА, ЭФФЕКТИВНО ВЛИЯЮЩЕГО НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА *CYNARA SCOLYMUS L.*

¹Собирова М.Б., ²Муродова С.С.¹Джизакский политехнический институт, Джизак, e-mail: sobirova.mukaddas83@mail.ru;²Джизакский филиал Национального университета, Джизак, e-mail: murodova74@mail.ru

Микробиологический синтез объединяет ряд сложных технологических процессов, результатом которых является переработка первичного сырья с получением готового продукта, необходимого для жизнедеятельности человека. В современном микробиологическом производстве каждый из различных биопрепаратов производится на основе отдельных технологий. Однако микроорганизмы, используемые во всех производственных процессах, проходят почти одинаковый жизненный цикл. С учетом этого была разработана модельная схема технологических процессов, пригодных для микробиологического синтеза. В данной статье приводятся данные о разработке технологии получения элиситора на основе местных бактериальных штаммов *Bacillus subtilis* СКБ-309, *Bacillus megaterium* СКБ-310 и *Pseudomonas stutzeri* СКБ-308 и модифицировании технологического процесса, который применяется для выращивания лекарственного растения артишока (*Cynara scolymus L.*). Элиситор получен на основе несколько этапных манипуляций, таких как получение необходимых культур микроорганизмов из лабораторной коллекции; культивирование посадочного маточного материала в инокуляторе; выращивание ризобактерий в большом ферментере; накопление культур ризобактерий в приборе для получения автолизата; охлаждение; экстракция; помещение биомассы в резервуар для хранения; перенос в мерный дозатор; упаковка; нейтрализация остаточной жидкости и слив жидкости в качестве субстрата для биоудобрения.

Ключевые слова: элиситор, технология, ферментер, экстрактор, инокулятор, резервуар, культивирование, фильтрат

ELICITOR ISOLATION TECHNOLOGY THAT EFFECTIVELY AFFECTS THE BIOLOGICAL PROPERTIES OF *CYNARA SCOLYMUS L.*

¹Sobirova M.B., ²Murodova S.S.¹Jizzakh Polytechnic Institute, Jizzakh, e-mail: sobirova.mukaddas83@mail.ru;²Jizzakh branch of the National University, Jizzakh, e-mail: murodova74@mail.ru

Microbiological synthesis combines a number of complex technological processes, the result of which is the processing of primary raw materials to obtain a finished product necessary for human life. In modern microbiological production, each of the various biological products is produced on the basis of separate technologies. However, the microorganisms used in all manufacturing processes go through almost the same life cycle. With this in mind, a model scheme of technological processes suitable for microbiological synthesis was developed. This article presents data on the development of a technology for obtaining an elicitor based on local bacterial strains *Bacillus subtilis* SKB-309, *Bacillus megaterium* SKB-310 and *Pseudomonas stutzeri* SKB-308 and modification of the technological process used for growing the artichoke medicinal plant (*Cynara scolymus L.*). The elicitor was obtained on the basis of several staged manipulations, such as – obtaining the necessary cultures of microorganisms from the laboratory collection; culturing planting uterine material in the inoculator; growing rhizobacteria in a large fermenter; accumulation of cultures of rhizobacteria in the device for obtaining autolysate; cooling; extraction; placing the biomass in a storage tank; transfer to a measuring dispenser; package; neutralization of residual liquid and discharge of liquid as a substrate for biofertilizer.

Keywords: elicitor, technology, fermenter, extractor, inoculator, reservoir, cultivation, filtrate

В настоящее время существует ряд перспективных экологически безопасных средств защиты растений. Одними из них являются индукторы устойчивости к болезням, т.е. элиситоры – вещества биотической и абиотической природы, которые распознаются растениями как сигнал, в ответ активируются защитные механизмы растений, снижающие действие биотических и абиотических стрессов [1]. Элиситоры распознаются растениями, они активируют сигнальные системы, которые приводят к экспрессии генов, связанных с защитой и, таким образом, повышают устойчивость растений. Эти вещества не-

токсичны и не оказывают вредного воздействия на окружающую среду [2].

Во многих литературных источниках отмечается, что помимо элиситоров растительного происхождения доказано применение элиситоров на основе бактерий, которые положительно влияют при снижении патогенных инфекций у растений [3].

Элиситоры на основе экссудатов PGPR (ризобактерии, способствующие росту и развитию растений) являются мощными агентами в борьбе с фитопатогенами [4], а также фильтраты этих бактериальных культур, таких как *Bacillus subtilis*, также могут оказывать защитное действие на урожай [5, 6].

В современном микробиологическом производстве каждый из различных биопрепаратов разрабатывается на основе специальных технологий. Однако микроорганизмы, используемые во всех производственных процессах, проходят практически одни и те же этапы жизни. С учетом этого были приняты модельные схемы технологических процессов, пригодные для микробиологического синтеза [7, 8].

Целью исследования было получение элиситора на основе местных штаммов ризобактерий и разработка технологии его производства в промышленных условиях для выращивания лекарственного растения артишока (*Cynara scolymus* L.).

Материалы и методы исследования

Материалами исследования служили биопрепарат Замин-М на основе местных штаммов бактерий *Bacillus subtilis* СКБ-309, *Bacillus megaterium* СКБ-310 и *Pseudomonas stutzeri* СКБ-308 и его автолизат – «Элиситор», растения артишока колючего (*Cynara scolymus* L.).

Выращивание ризобактерий на питательной среде

Ризобактерии выращивали на модифицированной питательной среде следующего состава (г/л): пептон (Н. Media) – 10; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ – 0,3 г/л; глюкоза – 20; K_2HPO_4 – 0,4; NaCl – 3,0; $CaCO_3$ – 3,0; pH – 6,8; 1000 мл дистиллированной воды. Среду стерилизовали в автоклаве Systec (D-35440 Linden, Германия) при 120 °С в течение 20 мин при 120 °С. В качестве посадочного материала использовали культуры микроорганизмов. Пересев проводили в ламинарном

боксе (BSC 120A, EU). Посевной материал выращивали в термостате (ТС 1/80-ЦПУ, Россия) при температуре 28 °С в течение 72 ч. Изготовление посадочного материала для производства осуществляли в лаборатории агробиотехнологии Ташкентского государственного аграрного университета.

Культуры инкубировали при 28 °С в течение 48 ч в пептонной среде (10%), затем добавляли 100 мл ферментационной среды (пептон, глюкоза, кукурузная мука, дрожжевой экстракт, NaCl, $CaCO_3$, pH – 6,8) в течение 1 сут проводили в колбах Эрленмейера объемом 500 мл.

Способ получения экстракта элиситора и выделения

Для получения элиситорного экстракта ассоциацию ризобактерий, выращенную в течение 3 сут в термостате, автоклавировали в автоклаве для микроорганизмов (D-35440 Linden, Германия) в течение 20 мин при 1 атм 120 °С, автолизат получали фильтрованием.

Хранение посевного материала

Коллекционные материалы хранились в пробирках, со средой Сабуро (г/л): глюкоза – 20,0, пептон – 10,0, агар – 18,0, вода водопродовная – 1000,0, pH 6,5±1.

Аппаратура

Для получения элиситора использован ферментер с барбатерным аэратором (рис. 1). Питательная среда и бактериальная культура подавались в емкость через подтрубки и затем по трубам. Воздух выпускается через капельный отделитель жидкости, установленный на крышке ферментера. Смесь переносили из большого и малого ферментеров в экстрактор.

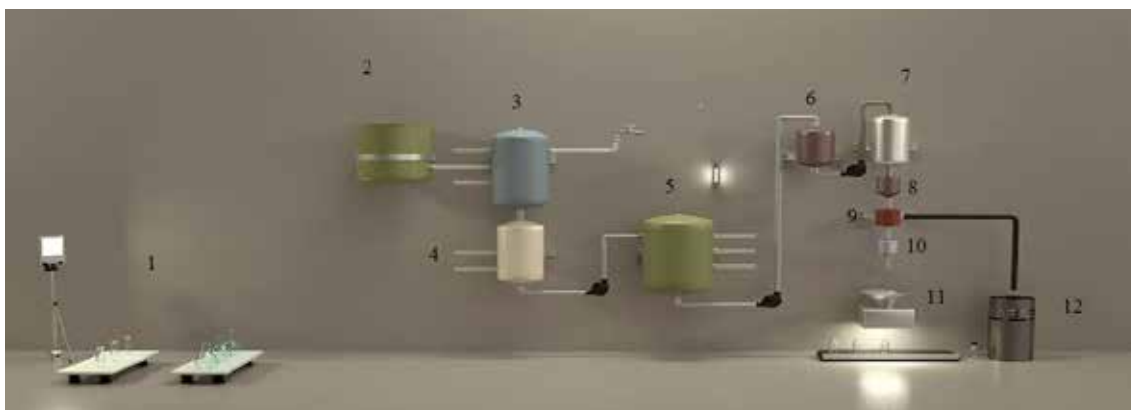


Рис. 1. Проект технологии извлечения элиситора: 1. Культура. 2–3. Прибор для приготовления питательной среды и стерилизации. 4. Ферментер для выращивания исходного инокулята. 5. Основной ферментер для культивирования микроорганизмов. 6. Резервуар. 7. Экстрактор. 8. Контейнер для хранения биомассы. 9. Фильтр. 10. Дозатор. 11. Упаковочное оборудование. 12. Хранилище для остаточной жидкости

Экстрактор состоит из загрузочной колонны, горизонтального шнека и вертикальной экстракционной колонки.

На выходах шнековых валов из крышек экстракторных колонок установлены уплотнения, препятствующие утечке биоматериала. Экстрагент переносится в верхнюю часть экстракционной колонны и движется по ней вниз. Экстрагент пропускают через горизонтальный шнек и загрузочную колонну вместе с извлекаемыми веществами через различные участки экстракта.

Для нахождения производительности (кг/ч) непрерывно работающей шнековой колонны по обрабатываемому материалу используется следующая формула:

$$Q = 60K_y (\pi D^2/4) S n \rho,$$

где K_y – 0,7–0,6 – загрузочный коэффициент сжатия загрузочной колонны сжатия;

D – диаметр шнека, м;

S – загрузочная колонна приемника первой ступени, м;

n – частота вращения шнека, мин⁻¹;

ρ – плотность извлекаемого материала, кг/м³.

Одним из основных показателей, характеризующих работу экстракторов, является мощность экстрактора – Q . Исходя из этого, Q определяется по формуле

$$Q = 60f_{зап} \cdot f_{куз} \cdot \pi \cdot r_1^2 \cdot h \cdot \omega \cdot \rho,$$

где r_1 – радиус винта, м,

h – шаг винта, м,

ω – частота вращения, мин⁻¹,

ρ – скорость извлечения материала, кг/м³.

Результаты исследования и их обсуждение

Уникальные свойства, термолабильность и стерильность микробиологического препарата накладывают дополнительные ограничения на конструктивное производство. По этой причине реагенты, которые обычно используются для химических производств, во многом не подходят для биотехнологических процессов [http://www.biotechnolog.ru/prombt/prombt5_2.htm].

Цикл ферментации начинали с внесения микроорганизмов в готовую к употреблению среду, включающую в себя все компоненты. В наших экспериментах микроорганизмы добавляли в стерилизованную среду при температуре 28±20 °С. Инактивация источников углерода перед инокуляцией или на разных стадиях ферментации может быть достигнута за счет поддержания определенной оптимальной концентрации инокулюма, которую можно изменять соответственно конкретному микроорганизму. Создание заданного значения pH или полная

стерилизация всех питательных веществ и самого биореактора является важным этапом, и в ходе исследования было использовано значение pH на уровне 6,8–7,0.

Процесс фильтрации для стерилизации газов (прежде всего воздуха) осуществлялся на специальных фильтрах. Фильтрующий материал периодически стерилизовали подачей пара в заданное время.

Этапы культивирования посевного материала производили по следующей схеме:

1. Получение необходимых культур микроорганизмов из лабораторной коллекции.

2. Культивирование посадочного маточного материала в инокуляторе (емкостью 5 л).

3. Выращивание ризобактерий в большом ферментере (оборудовании емкостью 50 л).

4. Накопление культур ризобактерий в малой емкости (5 м³) для получения автолизата (обработка паром в течение 20 мин при 1 атм, 120 °С).

5. Охлаждение.

6. Экстракция.

7. Помещение биомассы в резервуар для хранения.

8. Перенос в мерный дозатор.

9. Упаковка.

10. Нейтрализация остаточной жидкости и слив жидкости в качестве субстрата для биоудобрения.

На первом этапе посадочный материал выращивали в микробиологической лаборатории. Первоначально культивирование проводили на стерильной (1) агарозной питательной среде, на среде питательной среды, при значении pH 6,8–7,0; температура 28±2 °С, в течение 72 ч).

Предварительно выращенные культуры на косяках с агаризованной средой (1) отбирали с промыванием стерильной водой и переносили в колбах Эрленмейера объемом 250 мл со стерильной модифицированной жидкой средой Сабуро по 50–100 мл. Культуры инкубировали (1) при температуре 28±20 °С и в течение 72 ч. Колбы устанавливали на качалку с регулируемой температурой (28 °С). Средняя скорость вращения качалки составляла 240 об/мин.

На втором этапе культивирования приготовленную стерильную среду до оптимальной для роста микроорганизмов температуры 28±2 °С, 5–8% культурального материала в колбе переносили в инокулятор (3) с pH 6,8–7,0; температура 28±2 °С, в течение 72 ч. Оборудование включало барбатор аэрирования, датчики для измерения температуры, pH, пенообразования. Количество питательной среды в оборудовании не превышало 60% от общей вместимости оборудования.

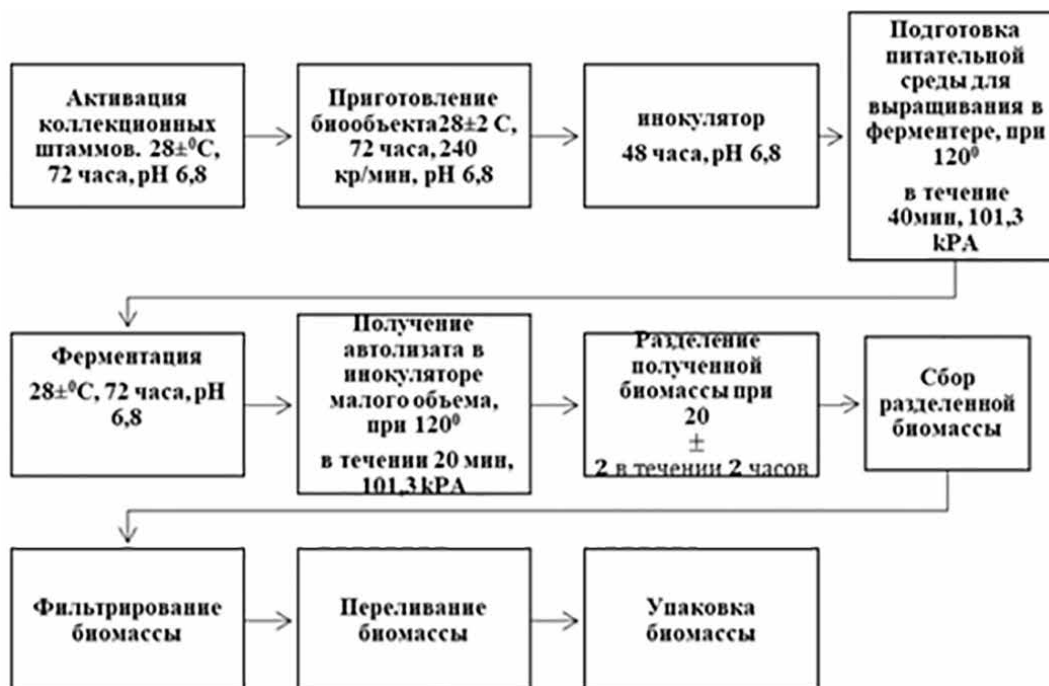


Рис. 2. Технологическая схема получения элиситора из штаммов микроорганизмов *Bacillus subtilis* СКБ-309, *Bacillus megaterium* СКБ-310 и *Pseudomonas stutzeri* СКБ-308

Поддержание стабильного режима роста при подготовке посадочного материала в оборудовании является ключевым фактором. Мониторинг этого требует взятия проб и их исследования для микробиологического и биохимического анализа. Культивирование продолжали до содержания ризобактерий в корме 1,5%/биомассы/л (в пересчете на сухую массу). Продолжительность данного процесса занимала 72 ч.

Третий этап – перенос посадочного материала на инокулятор 50 м³. Для этого всю культуральную жидкость переносили из небольшого инокулятора (4) на предварительно стерилизованную среду в объеме инокулята 50 м³ (5). При этом каждый микроорганизм имел равное соотношение количества в зависимости от его особенностей. Исходя из того, что этот процесс осуществлялся в фазе экспоненциального роста культуры, в посевную технику засеивали 10% от маточного материала из количества питательной среды. Культивирование заняло 48 ч.

На четвертом этапе процесса были продолжены на оборудовании (6) объемом 5 м³. Культивирование начинали путем смешивания культур в питательной среде в условиях умеренного pH – 6,8, температуры 28 °C и непрерывной аэрации. Накопление ризобактериальной биомассы продолжалось в течение 12 ч. Суспензию в ферменте-

ре переносили в экстрактор (7) и получали экстракт обработкой при 120 °C в течение 20 мин. Экстракт фильтровали и переносили резервуар для хранения биомассы (8) удалением фильтрата. Фильтрат подавался в дозатор (10) и расфасовывался по 1 л (11). Остаток утилизировали сбором в специальный контейнер (12) с целью получения жидкого удобрения для растетний (рис. 2).

Заключение

Таким образом, в результате исследования разработана технология получения элиситора на основе местных бактериальных штаммов *Bacillus subtilis* СКБ-309, *Bacillus megaterium* СКБ-310 и *Pseudomonas stutzeri* СКБ-308 и модифицирован технологический процесс.

Элиситор получен на основе несколько этапных манипуляций, таких как получение необходимых культур микроорганизмов из лабораторной коллекции; культивирование посадочного маточного материала в инокуляторе; выращивание ризобактерий в большом ферментере; накопление культур ризобактерий в малом приборе для получения автолизата; охлаждение; экстракция; помещение биомассы в резервуар для хранения; перенос в мерный дозатор; упаковка; нейтрализация остаточной жидкости и слив жидкости в качестве субстрата для биоудобрения.

Список литературы

1. Соколов Ю.А. Элиситоры и их применение // Вестн. НАН Беларуси, сер. хім. навук. 2014. № 4. С. 109–121.
2. Филиппова Г.Г., Соколов Ю.А., Лущик А.Я., Юрин В.М. Синтетические пептидные элиситоры как индукторы неспецифической устойчивости растений // Биологически активные препараты для растениеводства. Научное обоснование – рекомендации – практические результаты = Biologically active preparations for plant growing. Scientific background – Recommendations – Practical results. Материалы XIV Международной научно-практической конференции (Минск, 3–8 июля 2018 г.). Минск: БГУ, 2018. С. 204–206.
3. Pršić J. and Ongena M. Elicitors of Plant Immunity Triggered by Beneficial Bacteria. *Front. Plant. Sci.* 2020. 09 November. DOI: 10.3389/fpls.2020.594530 <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2020.594530/full>.
4. Lucke M., Correa M.G. and Levy A. The Role of Secretion Systems, Effectors, and Secondary Metabolites of Beneficial Rhizobacteria in Interactions With Plants and Microbes. *Front. Plant Sci.* 2020. 09. 11:589416. DOI: 10.3389/fpls.2020.589416. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2020.589416/full>.
5. Gordillo A., Maldonado M.C. Purification of peptides from *Bacillus* strains with biological activity. *Chromatography and Its Applications*. 2012. V. 11. P. 201–225.
6. Halder M., Sarkar S., Jha S. Elicitation: a biotechnological tool for enhanced production of secondary metabolites in hairy root cultures. *Engineering in Life Sciences*. 2019. № 19 (12). P. 880–895.
7. Давранов К. Саноат микробиологияси: учебное пособие. Т., 2012. 192 с.
8. Кузьмина Н. Основные принципы промышленной организации биотехнологических процессов. Технология приготовления питательных сред для биосинтеза. Раздел «Промышленная биотехнология» [Электронный ресурс]. URL: http://www.biotechnolog.ru/prombt/prombt5_2.htm.

УДК 57.08:612.084:616.127

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОДУКТОВ ЛИПИДНОГО ОБМЕНА В СЫВОРОТКЕ КРОВИ У ЖИВОТНЫХ С КАТЕХОЛАМИНОВЫМ КАРДИОНЕКРОЗОМ ПРИ КРАТКОСРОЧНОЙ АДАПТАЦИИ НА ФОНЕ ПРИМЕНЕНИЯ МИЛДРОНАТА

Таалайбекова М.Т., Махмудова Ж.А.

*Киргизская государственная медицинская академия им. И.К. Ахунбаева, Бишкек,
e-mail: meka_0694@mail.ru*

Авторами исследовались следующие показатели липидного обмена: липопротеины высокой плотности (ЛПВП), липопротеины низкой плотности (ЛПНП), триглицериды (ТГ), общий холестерин (ХЛ), после моделирования катехоламинового повреждения миокарда, а также после введения милдроната и плацебо. Установлено, что у животных с экспериментальным катехоламиновым кардионекрозом наиболее выраженные изменения показателей количественного содержания фракций липидного спектра в сыворотке крови регистрировались на 3-и сутки адаптации животных к условиям высокогорья. Поскольку многие аспекты кардиопротективного действия мeldonия остаются малоизученными и дискуссионными, представляет интерес изучить влияние милдроната на липидный спектр плазмы крови у крыс с катехоламиновым кардионекрозом в условиях краткосрочной адаптации. Проведенные нами эксперименты продемонстрировали, что пероральное введение милдроната в течение 10 дней крысам с моделированным кардионекрозом приводило к снижению уровня ХЛ, ЛПНП, ТГ и повышению уровня ЛПВП при экспериментальном катехоламиновом поражении миокарда на 3-и сутки адаптации к условиям высокогорья. У крыс с моделированным кардионекрозом, получивших плацебо, на 3-и сутки адаптации отмечалось дальнейшее ухудшение показателей: уровень ХЛ, ЛПНП увеличился; уровень ЛПВП снизился; уровень ТГ также был повышен. Описанные изменения липидного спектра крови экспериментальных животных произошли вследствие воздействия факторов стресса на большой высоте.

Ключевые слова: высокогорье, адреналин, некроз миокарда, липидный обмен, милдронат, холестерин, липопротеины, триглицериды

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF LIPID METABOLISM PRODUCTS IN BLOOD SERUM IN ANIMALS WITH CATECHOLAMINE CARDIONECROSIS IN SHORT-TERM ADAPTATION IN THE BACKGROUND OF MILDRONATE APPLICATION

Taalaybekova M.T., Makhmudova Zh.A.

Kyrgyz state medical academy named after I.K. Akhunbaev, Bishkek, e-mail: meka_0694@mail.ru

The authors studied the following parameters of lipid metabolism: HDL, LDL, triglycerides, total cholesterol after modeling of catecholamine myocardial injury, as well as after the administration of mildronate and placebo. It was found that in animals with experimental catecholamine cardioneclerosis, the most pronounced changes in the parameters of the quantitative content of lipid spectrum fractions in blood serum were recorded on the 3rd day of adaptation of animals to high mountains conditions. Since many aspects of the cardioprotective effect of meldonium remain poorly studied and controversial, it is of interest to study the effect of mildronate on the lipid spectrum of blood plasma in rats with catecholamine cardioneclerosis under conditions of high mountains. Our experiments demonstrated that oral administration of mildronate for 10 days to rats with experimental catecholamine myocardial necrosis led to a decrease in the level of CL, LDL, TG, and an increase in HDL levels in experimental catecholamine myocardial damage on the 3rd day of adaptation to high mountains conditions. In rats with simulated cardioneclerosis who received placebo, on the 3rd day of adaptation, further determination of indicators was noted: the level of CL, LDL increased; the level of HDL decreased; the TG level was also increased. The described changes in the lipid spectrum of the blood of experimental animals occurred as a result of exposure to stress factors at high altitude.

Keywords: high mountains, adrenaline, myocardial necrosis, lipid metabolism, mildronate, cholesterol, lipoproteins, triglycerides

При акклиматизации к высокогорным районам под влиянием недостаточности кровообращения и биоклиматических факторов развивается ряд адаптационных реакций, направленных на сохранение физиологического баланса в организме животных и человека. Гомеостаз означает наличие у организмов сложных приспособитель-

ных реакций, направленных на устранение или ограничение факторов, способствующих нарушению функции биологической организации. Это понятие отражает способность организма поддерживать жизненно важные функции в оптимальном режиме [1]. Понижение парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе ухудшает

процесс диффузии газов из альвеолярного воздуха в кровь. Вследствие этого насыщение и напряжение кислорода в артериальной крови падает, что ведет к последующим биохимическим сдвигам во внутренней среде организма. Эти изменения являются «чрезвычайными сигналами тревоги» для интерорецепторов, особенно хеморецепторов. Сигналы, посылаемые рецепторами с рефлексогенных полей, достигают соответствующих центров вегетативной корреляции. Происходит их тоническое возбуждение. При этом резко возрастает активность симпатической нервной системы.

Краткосрочная адаптация – это приспособительная реакция организма на чрезвычайные раздражители высокогорного климата как на стрессирующий фактор с целью компенсации возникающих в организме отклонений от равновесного состояния. Механизмы стрессорного ответа направлены на устранение или ограничение факторов, способствующих нарушению функции биологической организации. Это понятие отражает способность организма поддерживать жизненно важные функции в оптимальном режиме. При этом в организме и его системах возникают непрекращающиеся функциональные и морфологические сдвиги, которые являются жизненно необходимой, целесообразной реакцией и передаются по наследству и характеризуются изменчивостью [2].

Избыток катехоламинов (особенно адреналина) в миокарде обуславливает развитие кардиотоксического эффекта. Он является результатом следующих процессов: 1) чрезмерного повышения расхода кислорода и субстратов обмена веществ в связи с положительным хроно- и инотропными эффектами катехоламинов и значительным возрастанием работоспособности миокарда; 2) снижения энергопродуцирующих процессов и в связи с этим «непроизводительного расхода» кислорода и субстратов окисления. Последнее обусловлено повреждением мембранного аппарата кардиомиоцитов; инактивацией их ферментных систем (тканевого дыхания, гликолиза, пентозофосфатного шунта). Мембраны и ферменты альтерируются свободными радикалами, продуктами нарушенного метаболизма и свободнорадикального перекисного окисления липидов, образование которых стимулируют катехоламины, а также активированными гидролазами лизосом; разобщением процесса окислительно-фосфорилирования, избытком высших жирных кислот и ионов кальция, накапливающихся в кардиомиоцитах, в том числе

в их митохондриях под влиянием катехоламинов; 3) уменьшением (в сравнении с потребным) объема коронарного кровотока.

Липиды играют важную роль в развитии сердечно-сосудистых заболеваний. Помимо общепризнанной структурной функции липидов – образование бислоев клеточных мембран, липиды могут также действовать как сигнальные молекулы и вторичные молекулы-мессенджеры, которые участвуют в передаче сигналов рецепторов, связанных с G-белками. Избыток «плохих» видов липидов также может способствовать прогрессированию заболеваний сердца. Диеты с высоким содержанием жиров и холестерина, принятые в западных странах, способствуют развитию сердечно-сосудистых факторов риска, таких как гиперлипидемия и гиперхолестеринемия. Высокий уровень этих циркулирующих липидов может привести к накоплению липидных бляшек на стенках артерий (атеросклероз).

В последнее время в медицине интенсивно развивается «метаболическое» направление, целью которого является анализ нарушений клеточного метаболизма при сердечно-сосудистых патологиях.

Показано, что спектр заболеваний, при которых мелдоний демонстрирует свои разноплановые положительные эффекты, очень широкий. Наряду с гемодинамическим и метаболическими эффектами он обладает нейрорегуляторным и нейроадаптогенным действием, что позволяет рассматривать его как препарат «узловой», или наднормозологической фармакотерапии [3].

В условиях недостатка кислорода в крови и тканях милдронат восстанавливает равновесие процессов доставки кислорода и его потребления в клетках, предупреждает нарушение транспорта энергии (АТФ); одновременно с этим усиливает процесс окисления глюкозы, который протекает без дополнительного потребления кислорода. В результате снижения уровня карнитина усиленно образуется гамма-бутиробеталин, который обладает сосудорасширяющим эффектом [4].

С развитием методов доказательной медицины и созданием профессиональными сообществами врачей клинических руководств и рекомендаций по ведению пациентов обострились дискуссии об эффективности и безопасности проведения медикаментозной терапии с использованием ЛПИ метаболического действия. Несмотря на широкое использование мелдония, доступно лишь несколько клинических исследований или клинических испытаний его эффективности и безопасности [5].

В исследованиях, оценивающих мельдоний, использовались разные схемы лечения и разные критерии оценки, препарат оценивался разными категориями пациентов. Основные направления использования данного препарата – ИБС, энцефалопатии различного генеза. Все опубликованные результаты исследований свидетельствуют о тех или иных положительных эффектах мельдония. Во многих публикациях оценка эффекта во многом основана на субъективных ощущениях пациента, которые ассоциированы с качеством жизни, обусловленным здоровьем, и которым придают не меньшее (чем увеличение продолжительности жизни) значение в последние десятилетия.

Как известно, даже по поводу детально изученных лекарственных препаратов периодически возникают дискуссии о соотношении польза/вред при применении их в клинической практике. Поэтому совершенно естественно, что для решения вопроса об эффективности и безопасности применения тех или иных недостаточно хорошо изученных лекарств необходимо проведение дополнительных исследований.

Цель исследования – изучение показателей липидного обмена в сыворотке крови у крыс до и после искусственного повреждения миокарда в условиях низкогорья и на 3-й день адаптации к горному климату с последующим 10-дневным лечением препаратом милдронат.

Материалы и методы исследования

Эксперименты проводились на лабораторных крысах-самцах в возрасте 3-4 месяцев массой 200-300 г. в условиях низкогорья (в Межотраслевом учебно-научном центре биомедицинских исследований Кыргызской государственной медицинской академии им. И.К. Ахунбаева, г. Бишкек, 720 м над уровнем моря), и на 3-и сутки пребывания животных в условиях высокогорья (перевал Тоо-Ашуу, 3200 м над уровнем моря) до и после искусственного повреждения миокарда.

Забор крови у экспериментальных животных осуществлялся в пробирку при декапитации в соответствии с рекомендациями Приложения 4 к Правилам проведения работ с использованием экспериментальных животных Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях [6]. Крысы содержались в условиях сбалансированного питания.

В условиях низкогорья и на 3-и сутки пребывания животных в условиях высоко-

горья животные были разделены на следующие группы:

- 1 – группа животных, которым вводили раствор эпинефрина гидрохлорида в дозе 0,025 мг/кг массы тела;
- 3 – группа крыс, получавших перорально милдронат в дозе 50 мг/кг массы тела 1 раз в сутки в течение 10 дней через 2 часа после введения раствора эпинефрина гидрохлорида;
- 4 – группа крыс, получавших перорально плацебо в дозе 50 мг/кг массы тела 1 раз в сутки в течение 10 дней через 2 часа после введения раствора эпинефрина гидрохлорида.

Катехоламиновые некрозы у экспериментальных животных провоцировались одноразовым внутривенным введением 0,1%-ного раствора адреналина гидрохлорида в дозе 0,025 мг/кг массы тела в условиях низкогорья и в дозе 0,015 мг/кг массы тела в условиях высокогорья [7; 8].

До и после моделирования катехоламинового повреждения миокарда, а также после введения милдроната и плацебо исследовались следующие показатели липидного обмена: ЛПВП, ЛПНП, триглицериды, общий холестерин на настольном биохимическом автоанализаторе RESPONS 920 фирмы DiaSys Diagnostic Systems GmbH, Германия.

При проведении исследований использовался мельдоний в виде капсул под торговым наименованием «Милдронат», производства латвийской компании «Гриндекс». Содержимое капсул «Милдронат» и плацебо – порошкообразную массу в дозе, рассчитанной для каждой особи, смешивали с водой и вводили крысам внутрь с помощью металлического аграватического зонда через 2 часа после введения адреналина. Экспериментальных животных содержали в клетках в виварии МУНЦ БМИ «КГМА им. И.К. Ахунбаева»; кормили через 4 часа после введения милдроната и плацебо, в питье воды не ограничивали.

Статистическую обработку полученных данных проводили с помощью программы SPSS 16.0. Данные представлены в виде среднего значения ± средняя статистическая ошибка (Independent Samples T-Test). За уровень статистической значимости принимали $p < 0,05$.

Результаты исследований и их обсуждение

Ранее в проведенных нами исследованиях в условиях низкогорья у животных с моделированным некрозом миокарда отмечалось возрастание уровня ХЛ ($p < 0,1$), фракций ЛПНП ($p < 0,01$), ТГ ($p < 0,001$). Кроме того, было отмечено уменьшение уровня фракций ЛПВП при $p \leq 0,003$.

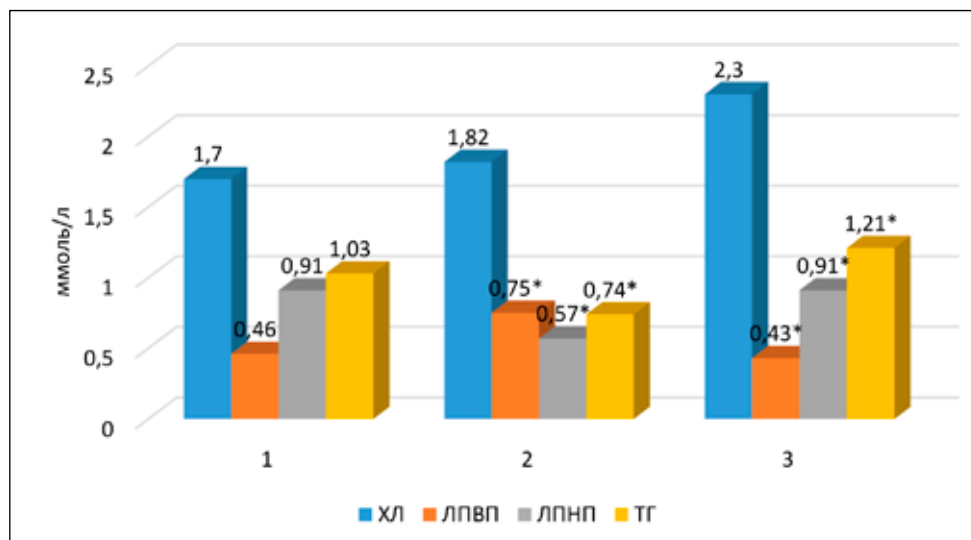


Рис. 1. Показатели (среднее значение) фракций липидного спектра сыворотки крови после искусственного повреждения миокарда с последующим применением милдроната и плацебо в условиях низкогогорья

* – $p < 0,05$ при сравнении 2-й группы с 1-й группой; 3-й группы с 1-й группой

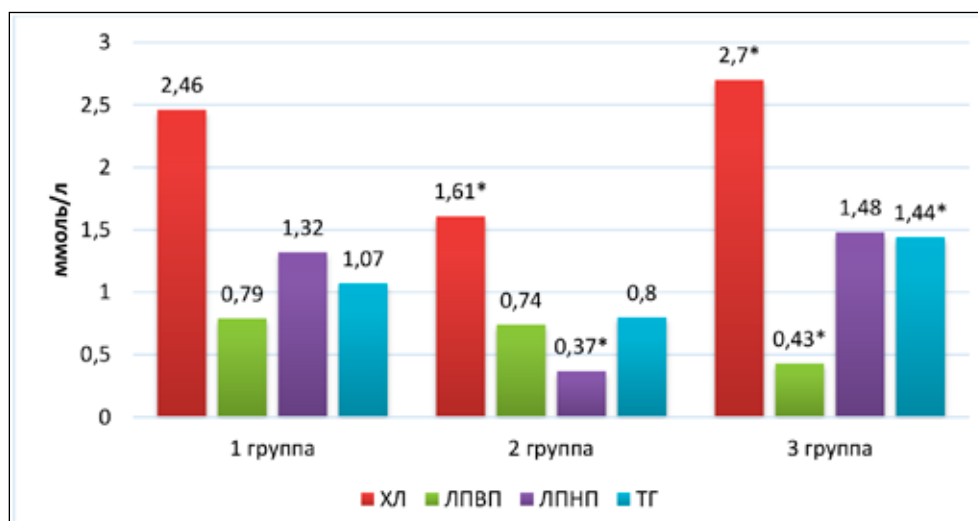


Рис. 2. Показатели (среднее значение) фракций липидного спектра сыворотки крови опытных крыс на 3-й день пребывания в Туя-Ашуу

* – $p < 0,05$ при сравнении 2-й и 3-й групп с 1-й группой.

После лечения 2-й группы животных милдронатом в сыворотке крови наблюдалось возрастание уровня ХЛ с $1,7 \pm 0,1$ до $1,82 \pm 0,03$ ммоль/л ($p < 0,3$), ЛПВП с $0,46 \pm 0,08$ до $0,75 \pm 0,05$ ммоль/л ($p < 0,04$). Также было отмечено снижение уровня ЛПНП с $0,91 \pm 0,1$ до $0,57 \pm 0,01$ ммоль/л ($p < 0,03$), ТГ с $1,03 \pm 0,02$ до $0,74 \pm 0,05$ ммоль/л ($p < 0,001$).

У крыс с кардионекрозом, получавших плацебо, отмечалось ухудшение липидно-

го спектра крови: уровень ХЛ увеличился с $1,7 \pm 0,1$ до $2,3 \pm 0,06$ ммоль/л ($p < 0,001$); уровень ЛПВП незначительно снизился с $0,46 \pm 0,08$ до $0,43 \pm 0,02$ ммоль/л ($p < 0,7$); уровень ЛПНП остался без изменений ($p \leq 0,9$); уровень ТГ повысился с $1,03 \pm 0,02$ до $1,21 \pm 0,02$ ммоль/л ($p < 0,001$). Описанные изменения свидетельствуют о появлении ишемических очагов в миокарде экспериментальных животных.

В крови у крыс с искусственным повреждением миокарда на 3-й день адаптации к условиям горного климата демонстрировалось увеличение уровня ХЛ ($p < 0,007$) и фракций ЛПНП ($p < 0,005$). Уровень ТГ увеличился статистически незначимо ($p < 0,3$), а уровень фракций ЛПВП достоверно повысился ($p < 0,7$) [9].

У животных с кардионекрозом, пролеченных милдронатом, наблюдалось уменьшение уровня ХЛ с $2,46 \pm 0,08$ до $1,61 \pm 0,09$ ммоль/л ($p < 0,001$); ЛПНП с $1,32 \pm 0,07$ до $0,37 \pm 0,04$ ммоль/л ($p < 0,001$). Также было отмечено снижение уровня ЛПВП с $0,79 \pm 0,08$ до $0,74 \pm 0,02$ ммоль/л ($p < 0,6$); ТГ с $1,07 \pm 0,02$ до $0,80 \pm 0,07$ ммоль/л ($p < 0,003$) (рис. 2).

У крыс с искусственным повреждением миокарда, получивших плацебо, на 3-и сутки адаптации отмечалось дальнейшее ухудшение показателей: уровень ХЛ увеличился с $2,46 \pm 0,08$ до $2,7 \pm 0,1$ ммоль/л ($p < 0,1$); уровень ЛПВП снизился с $0,79 \pm 0,08$ до $0,43 \pm 0,04$ ммоль/л ($p < 0,001$); уровень ЛПНП увеличился с $1,32 \pm 0,07$ до $1,48 \pm 0,09$ ($p < 0,2$); уровень ТГ повысился с $1,07 \pm 0,02$ до $1,44 \pm 0,09$ ммоль/л ($p \leq 0,001$). Описанные изменения липидного спектра крови экспериментальных животных произошли вследствие воздействия факторов стресса на большой высоте.

Закключение

Таким образом, у животных с экспериментальным катехоламиновым повреждением миокарда наиболее выраженные изменения показателей количественного содержания фракций липидного спектра в сыворотке крови регистрировались на 3-и сутки адаптации животных к особенностям высокогорного климата.

Известно, что понижение парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе ухудшает процесс диффузии газов из альвеолярного воздуха в кровь. Вследствие этого насыщение и напряжение кислорода в артериальной крови падает, что ведет к последующим биохимическим сдвигам во внутренней среде организма. Увеличение производительности сердца не является беспредельным, поэтому не-

адекватная нагрузка на сердечную мышцу отрицательно сказывается на организме человека и животных. Для обеспечения увеличивающейся при стрессе кислородной потребности, увеличения кровоснабжения работающих органов и тканей большую роль играет метод фармакологической поддержки организма на клеточном уровне.

Проведенное экспериментальное контролируемое исследование по изучению перорального десятидневного введения милдроната крысам с экспериментальным адреналиновым кардионекрозом на 3-й день адаптации к высокогорью показало, что изучаемый препарат оказывал нормализующее влияние на соотношение проатерогенных (ХЛ, ЛПНП) и антиатерогенных (ЛПВП) фракций липидов крови.

Список литературы

1. Selye, H. Simple techniques for the surgical occlusion of coronary vessels in the rats. *Angiology*. 1960. No. 11. P. 398-407.
2. Солкин, А. А. Основные механизмы формирования защиты головного мозга при адаптации к гипоксии // *Вестник Витебского ГМ*. 2012. Т. 11. № 1. С. 6-14.
3. Недогада, С.В. Мельдоний как наднормозологический препарат // *Consilium Medicum*. 2020 (22). № 5. С. 57-61. DOI: 10.26442/20751753.2020.5.200208.
4. Dambrova M. Pharmacological effects of meldonium: biochemical mechanisms and biomarkers of cardiometabolic activity. *Pharmacol Res*. 2016. Vol. 113. P.771-780.
5. Schobersberger W., Dünnwald T., Gmeiner G., Blank C. Story behind meldonium—from pharmacology to performance enhancement: a narrative review. *British Journal of Sports Medicine*. 2017. No. 51(1). P. 22-25. DOI: 10.1136/bjsports-2016-096357.
6. Европейская конвенция о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях ETS N 123 (Страсбург, 18 марта 1986 г.) [Электронный ресурс] URL: <https://base.garant.ru/4090914/> (дата обращения: 20.03.2022).
7. Вебер В.Б. Воздействие больших и малых доз адреналина на ремоделирование миокарда левого и правого желудочков сердца крыс линии Вистар в хроническом эксперименте // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 1. С. 258-264.
8. Махмудова Ж.А. Моделирование катехоламинового некроза миокарда у кроликов в условиях высокогорья // *Academy*. 2016. №1 (4). С. 1-7.
9. Таалайбекова М.Т., Махмудова Ж.А., Баатырова Н.Ж. Состояние липидного обмена, каталазы и малонового диальдегида в крови у животных с адреналиновым некрозом миокарда в условиях высокогорья // *Наука, новые технологии и инновации Киргизстана*. 2021. № 7. С. 55-59.