

НАУЧНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ»

SCIENTIFIC PUBLISHING CENTER «ACADEMY OF NATURAL HISTORY»

НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ • БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ № 1

SCIENTIFIC REVIEW • BIOLOGICAL SCIENCES

2023

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 – 0,396
Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,289

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

*Почтовый адрес: 105037, г. Москва, а/я 47
Адрес учредителя: 410056, Саратовская область,
г. Саратов, ул. им. Чапаева В.И., д. 56
Адрес редакции: 410035, Саратовская область,
г. Саратов, ул. Мамонтовой, д. 5*

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

Post address: 105037, Moscow, p.o. box 47
**Founder's address: 410056, Saratov region,
Saratov, 56 Chapaev V.I. str.**
**Editorial address: 410035, Saratov region,
Saratov, 5 Mamontovoi str.**

*Подписано в печать 31.03.2023
Дата выхода номера 28.04.2023
Формат 60×90 1/8*

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

Signed in print 31.03.2023
Release date 28.04.2023
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.*

*Распространение по свободной цене
Тираж 1000 экз. Заказ НО 2023/1
Подписной индекс в электронном каталоге
«Почта России»: ПА494
© 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

2023 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

СТАТЬИ

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ПО ЭПИФИТНЫМ ЛИШАЙНИКАМ <i>Грачева Л.О., Гончарова Е.Е., Протасова М.В.</i>	5
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИХ СООБЩЕСТВ ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ ЧЕРНОГО МОРЯ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ И ГОРОДА СЕВАСТОПОЛЯ (КАРКИНИТСКИЙ ЗАЛИВ, КАЛАМИТСКИЙ ЗАЛИВ, СЕВАСТОПОЛЬСКАЯ БУХТА, ФЕОДОСИЙСКИЙ ЗАЛИВ) <i>Денисенко О.С.</i>	10
ИЗМЕНЕНИЕ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ <i>Жаббаров З.А., Номозов У.М., Бахранова М.Ф., Абдукаримов Ж.Ж.</i>	18
НОВОЕ В РЕГИСТРАЦИИ ОНЛАЙН АКТИВНОСТИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ <i>Козеев Е.В.</i>	24
СПЕЦИФИКА СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ БИОМАСС ПЛАНКТОНА В СТРУКТУРЕ МАРГИНАЛЬНОГО ФИЛЬТРА УСТЬЯ РЕКИ СЕВЕРНАЯ ДВИНА <i>Мискевич И.В., Новикова Ю.В., Трошков В.А., Мосеев Д.С.</i>	31
АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ПЛОДОРОДИЯ И ПРОДУКТИВНОСТИ ПОЧВ <i>Турдалиев А.Т., Эшпулатов Ш.Я.</i>	36
СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ ЖУКОВ-ГЕРПЕТОБИОНТОВ В АГРОЦЕНОЗАХ ЗЕРАВШАНСКОЙ ДОЛИНЫ <i>Хамзаев Р.А., Алимова Л.Х., Умурзакова М.С., Халимов Ф.З.</i>	41
НАУЧНЫЙ ОБЗОР	
КАЧЕСТВО И БЕЗОПАСНОСТЬ КРАФТОВОГО ПИВА <i>Бурак Л.Ч.</i>	46

СТАТЬИ

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВИДОВ НЕМАТОДОФАУНЫ ТОМАТА ПО БИОТОПАМ (САМАРКАНДСКАЯ ОБЛАСТЬ, УЗБЕКИСТАН) <i>Мирзаев У.Н.</i>	56
ВИДЫ ЯДОВИТЫХ РАСТЕНИЙ В КАРЕЛИИ <i>Морозова К.В.</i>	62
ПАТОГЕННЫЕ МИКРОМИЦЕТЫ У ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА SALICACEAE, ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ В БОТАНИЧЕСКОМ САДУ ПЕТРА ВЕЛИКОГО <i>Трофимова А.С., Яндовка Л.Ф., Фирсов Г.А.</i>	67
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОМОРФНЫХ ПОЧВ <i>Турдалиев Ж.М., Санакулов С.Ф.</i>	73
ИЗМЕНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ <i>Жобборов Б.Т.</i>	78
КОМПЛЕКСНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОСТОЯНИЯ ШЕРШНЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА (РОССИЯ, Г. ЧЕЛЯБИНСК) <i>Кравцова А.В., Ходоровская Н.И., Дерябина Л.В.</i>	85
ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОЧВОГРУНТОВ ОБСОХШЕЙ ЧАСТИ АРАЛЬСКОГО МОРЯ <i>Эгамбердиев Ж.А., Абдурахмонов Н.Ю.</i>	91
НАУЧНЫЙ ОБЗОР	
МЕХАНИЗМЫ СНИЖЕНИЯ СОЛЕВОГО СТРЕССА У РАСТЕНИЙ ПРИ ПОМОЩИ СОЛЕУСТОЙЧИВЫХ БАКТЕРИЙ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ГАЛОФИТОВ <i>Аликулов Б.С.</i>	98

CONTENTS

Biological sciences

ARTICLES

ASSESSMENT OF THE CONDITION OF ATMOSPHERIC AIR BY EPIPHYTIC LICHENS <i>Gracheva L.O., Goncharova E.E., Protasova M.V.</i>	5
HYDROBIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE COASTAL WATERS OF THE BLACK SEA OF THE REPUBLIC OF CRIMEA AND SEVASTOPOL (KARKINITSKY BAY, KALAMITSKY BAY, SEVASTOPOL BAY, FEODOSIYSKY BAY) <i>Denisenko O.S.</i>	10
CHANGES IN THE ENZYMATIC ACTIVITY OF OIL-CONTAMINATED SOILS <i>Jabbarov Z.A., Nomozov U.M., Baxranova M.F., Abdurkarimov J.J.</i>	18
NEW IN REGISTRATION ONLINE OF BIO-OBJECTS ACTIVITY AND THEIR MUTUAL INTERACTION IN THE DEVELOPMENT PROCESS <i>Kozeev E.V.</i>	24
THE SPECIFICITY OF SEASONAL VARIABILITY OF PLANKTON BIOMASS IN THE STRUCTURE OF THE MARGINAL FILTER OF THE SEVERNAYA DVINA RIVER MOUTH <i>Miskevich I.V., Novikova Yu.V., Troshkov V.A., Moseev D.S.</i>	31
AGROECOLOGICAL MEASURES FOR INCREASING SOIL FERTILITY AND PRODUCTIVITY <i>Turdaliyev A.T., Eshpulatov Sh.Ya.</i>	36
SEASONAL DYNAMICS OF THE POPULATION OF HERPETOBIONT BEETLES IN THE AGRICULTURAL CENOSIS OF THE ZERAVSHAN VALLEY <i>Khamzaev R.A., Alimova L.Kh., Umurzakova M.S., Khalimov F.Z.</i>	41

REVIEW

QUALITY AND SAFETY OF CRAFT BEER <i>Burak L.Ch.</i>	46
--	----

ARTICLES

DISTRIBUTION OF TOMATO NEMATODAFUNA SPECIES ALONG THE BIOTOPES (SAMARKAND REGION, UZBEKISTAN) <i>Mirzaev U.N.</i>	56
SPECIES OF POISONOUS PLANTS IN KARELIA <i>Morozova K.V.</i>	62
PATHOGENIC MICROMYCETES IN REPRESENTATIVES OF THE SALICACEAE FAMILY INTRODUCED IN THE PETER THE GREAT BOTANICAL GARDEN <i>Trofimova A.S., Yandovka L.F., Firsov G.A.</i>	67
GEOECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF HYDROMORPHIC SOILS <i>Turdaliev Zh.M., Sanakulov S.F.</i>	73
CHANGES IN THE BIOLOGICAL PROPERTIES OF SOILS UNDER THE INFLUENCE OF INDUSTRIAL ENTERPRISES <i>Zhobborov B.T.</i>	78
COMPLEX CHARACTERISTICS OF THE STATE OF THE SHERSHNEVSKY RESERVOIR (RUSSIA, CHELYABINSK) <i>Kravtsova A.V., Khodorovskaya N.I., Deryabina L.V.</i>	85
PARTICULAR COMPOSITION OF SOILS IN THE DRY PART OF THE ARAL SEA <i>Egamberdiyev J.A., Abdurahmonov N.Yu.</i>	91

REVIEW

MECHANISMS OF SALT STRESS REDUCTION IN PLANTS USING SALT-RESISTANT BACTERIA ISOLATED FROM HALOPHYTES <i>Alikulov B.S.</i>	98
---	----

СТАТЬИ

УДК 504.3

**ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА
ПО ЭПИФИТНЫМ ЛИШАЙНИКАМ**

Грачева Л.О., Гончарова Е.Е., Протасова М.В.

ФГБОУ ВО «Курский государственный университет», Курск,

e-mail: goncharova.cat2016@yandex.ru

В данной статье приведены сведения о влиянии автотранспорта на характер и качество атмосферного воздуха. Вследствие постоянной антропогенной нагрузки воздушная среда накапливает много негативных, загрязняющих ее, элементов. Большинство токсичных соединений негативно сказываются на животном, растительном мире, а также проникают в круговороты веществ, чем нарушают баланс экосистем. В качестве объекта были взяты сообщества лишайников. Многие виды очень чутко реагируют на качество воздушной среды. Нами были исследованы динамика и состояние видового состава лишайников на территории Курской области. Исследование проводилось на двух пробных площадках. Первая находилась вдоль автотранспортной дороги, вторая – в глубине леса, на расстоянии 50 м от шоссе. По статистическим данным мы определили плотность сообществ лишайников. Был произведен расчет лишеноиндикационного индекса полеотолерантности (ИП) для определения концентрации SO_2 . Таким образом была определена степень загрязнения атмосферного воздуха рядом с с. Дичня. При сравнении показателей индекса полеотолерантности у автотранспортной дороги и в глубине леса была установлено, что около дороги качество воздуха почти в 6 раз ниже.

Ключевые слова: биоиндикация, атмосферный воздух, эпифитные лишайники, динамика, оксид серы

**ASSESSMENT OF THE CONDITION OF ATMOSPHERIC AIR
BY EPIPHYTIC LICHENS**

Gracheva L.O., Goncharova E.E., Protasova M.V.

Kursk State University, Kursk, e-mail: goncharova.cat2016@yandex.ru

This paper provides information on the impact of motor vehicles on atmospheric air quality. As a consequence of constant anthropogenic load, the air environment accumulates many negative elements. Most toxic compounds negatively affect animal and plant world, as well as penetrate into the cycles of substances, thus upsetting the balance of ecosystems. Lichen communities were taken as the object. Many species are very sensitive to the quality of the air environment. We have studied the dynamics and state of the species composition of lichens in the Kursk region. The study was conducted in two places. The first place was near a transport road. The second location was in the woods, 50 meters from the road. Using statistical data, we determined the density of lichen communities. We determined the concentration of SO_2 in the air near the village of Dichnya. When comparing the lichen indices, it was found that the air by the road is 6 times dirtier.

Keywords: bioindication, atmospheric air, epiphytic lichens, dynamics, sulfur oxide

В связи с постоянным усилением антропогенной нагрузки на окружающую среду актуальной задачей является разработка методов контроля состояния окружающей среды. Из многих представителей, используемых в биоиндикационных методах, лишайники особенно чутко реагируют на характер субстрата, на котором произрастают, на состав и качественные характеристики воздуха, а также на микроклиматические условия произрастания, связанные с особенностями климатических и географических факторов [1]. Благодаря всем этим особенностям лишеноиндикационные методы получают широкую огласку. Лишеноиндикация является достаточно точным, локальным и, что немаловажно, простым и дешевым методом исследования окружающей среды. Еще одним плюсом использования данного объекта является практически повсеместное распространение лишайников [2].

Лишайниковая флора считается одной из лучших в качестве индикатора загрязнения окружающей среды, так как численность и видовой состав лишайников резко возрастают или убывают на определенном расстоянии от источника загрязнения [1]. Лишайники способны аккумулировать все вещества, находящиеся в атмосфере, в том числе токсичные. При этом у лишайников часто наблюдаются морфологические изменения, такие как уменьшение таллома, некрозы слоевища, изменяющие привычную окраску видов, при более углубленном просмотре можно заметить отсутствие гимениального слоя [2].

Лишайники (Lichenes) – своеобразная группа низших споровых растений. Их тело образовано двумя разными организмами, образующими симбиоз между собой: грибом, который во многих источниках называют микобионтом, и водорослью (фикобионтом) – с преобладанием в большинстве случаев первого организма [2].

По внешнему виду лишайник разделяют на три группы: накипные, листоватые и кустистые. Накипные наиболее распространены и составляют около 80% видов; листоватые лишайники более структурированы, имеют вид распростертых по субстрату пластин (одной или нескольких); кустистые формы считаются самыми высокоорганизованными представителями лишайников, они представляют собой ветвящиеся кустики, хорошо выделяющиеся на общей поверхности субстрата [3].

В нашем исследовании именно наличие перечисленных выше групп играло ключевую роль. Установлено, что при увеличении химической нагрузки на атмосферный воздух в первую очередь исчезают кустистые, а затем – листоватые и накипные лишайники. Однако стоит заметить, что данная закономерность относится к наиболее чувствительным представителям данных групп, поэтому для более точной оценки стоит пользоваться шкалой лишеноиндикационной чувствительности.

Из многих экологических групп самой большой чувствительностью обладают эпифитные лишайники, которые произрастают на коре деревьев. Многие представители этой группы относятся к листоватым и кустистым формам. Накипные, как правило, можно заметить на самых разнообразных поверхностях [1].

Целью исследования было определение оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха и ориентировочная оценка концентрации SO_2 по количественным показателям и уровню развития сообществ эпифитных лишайников вблизи с. Дичня.

Материалы и методы исследования

Для определения загрязненности атмосферного воздуха нами был использован метод «палетки» и произведен расчет лишеноиндикационных индексов.

Способ «палетки» не так точен при проведении масштабных работ, однако является наиболее наглядным для исследования видового состава и характера распространения лишайниковой флоры по субстрату. Его можно отнести к методам непосредственного измерения проективного покрытия лишайников на стволах деревьев. Для работы этим методом была использована рамка 10 на 10 см, расчерченная на квадраты 1 на 1 см. При наложении ее на ствол дерева было зафиксировано проективное покрытие (рис. 1) [4].

Лишеноиндикационные индексы позволяют выявить степень загрязненности местной атмосферы. Индекс полеотолерантности (ИП) отражает влияние загрязнения воздуха на лишайники, а также используется для определения содержания SO_2 в воздухе [5].

рантности (ИП) отражает влияние загрязнения воздуха на лишайники, а также используется для определения содержания SO_2 в воздухе [5].



Рис. 1. Лишеноиндикационная палетка

Объектом исследования были выбраны сообщества эпифитных лишайников, растущие на древесной растительности вдоль дороги и в лесной зоне.

В качестве предмета исследования выступила биоиндикационная способность лишайников.

Результаты исследования и их обсуждение

Научно-исследовательская работа проводилась вблизи с. Дичня Курчатовского района Курской области. Исследование осуществлялось в летний период в июне. Средняя температура воздуха составила $23^{\circ}C$. В этом месяце наблюдалась повышенная влажность.

При оценке проективного покрытия (табл. 1, 2) был выявлен родовой состав представленных лишайников. Они были отнесены к 4 родам: род Уснея – *Usnea* Wigg. emend. Ach. – 1 вид; род Пармелия – *Parmelia* Ach. – 2 вида; род Ксантория – *Xanthoria* Th. Fr. – 1 вид; род Эверния – *Evernia* Ach. – 1 вид [5]. Из всех встреченных видов были обнаружены как кустистые, так и листоватые формы, причем в глубине леса разнообразие было представлено наиболее ярко. В ходе исследования было принято решение не брать во внимание накипные лишайники, так как встреченные виды были достаточно устойчивыми к загрязнению воздуха.

Таблица 1

Оценка проектировочного покрытия около проезжей части

Признаки	Деревья (близость к дороге)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Общее количество видов лишайников	2	2	1	2	3	2	2	0	2	2
– листоватых	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1
– кустистых	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Степень покрытия древесного ствола лишайниками, %	60	80	75	30	40	45	70	5	40	50

Таблица 2

Оценка проектировочного покрытия в лесной зоне

Признаки	Деревья (в глубине леса)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Общее количество видов лишайников	3	2	2	2	3	2	3	3	3	2
– листоватых	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1
– кустистых	1	0	0	0	2	0	1	1	1	0
Степень покрытия древесного ствола лишайниками, %	60	40	20	50	45	30	15	60	80	85

Таким образом, нами наблюдались виды, которые в основном широко распространены в умеренных зонах Европейской части России [6]. Практически на всех деревьях встречался вид листоватых лишайников пармелия бороздчатая (*Parmelia sulcata* Tayl.) (рис. 2).



Рис. 2. Пармелия бороздчатая (*Parmelia sulcata* Tayl.) – слева, эверния сливовая (*Evernia prunastri* (L.) Ach.) – по центру

Достаточно часто можно было наблюдать ксанторию настенную (*Xanthoria parietina* L. Belt.). В глубине лесной зоны начали встречаться кустистые формы эвер-

ния сливовая (*Evernia prunastri* (L.) Ach.) (рис. 2) и уснея жесткая (*Usnea hirta* (L.) Wigg. emend. Moe.) [7]. Стоит заметить, что около автотранспортной дороги появление кустистой формы было замечено лишь один раз. Таллом был маленького размера и практически незаметен на общем фоне ствола дерева.

Помимо вышеперечисленных эпифитных лишайников был замечен вид кладония бахромчатая (*Cladonia fimbriata* (L.) Fr). Он был широко представлен на старых пнях и поваленных деревьях, однако не был включен в исследование.

У всех видов лишайниковой флоры, встреченной на контрольных участках, был определен класс полеотолерантности. Благодаря ему можно выяснить, какие группы лишайников в одинаковой степени реагируют на степень техногенной нагрузки и тип поллютанта. Этот параметр также нужен для определения индекса полеотолерантности. Род Уснея относится к VIII классу и характерен даже для сильно загрязненных областей. Он особенно часто встречается около проезжей части. В глубине леса можно было встретить представителя рода Эверния. Эверния сливовая имеет II класс полеотолерантности и с большей вероятностью встречается на достаточно чистых, близких к естественным условиям, местам [5].

Количественным показателем, характеризующим площадь покрытия лишайником субстрата, является проективное покрытие [2]. В среднем покрытие на участке вдоль дороги составило 49%, а в чаще леса 48,5%, что соответствует 4 баллам. Большую часть покрытия занимали листоватые виды лишайников, которые составляли порядка 50% покрытия на каждом отдельном дереве. Кустистые встречались очень редко, в глубине леса площадь покрытия занимала не более 5% на каждом дереве, тогда как около дороги был встречен лишь один экземпляр. Стоит заметить, что покрытие в чаще леса имеет усредненное значение, тогда как вдоль автотранспортной дороги оно варьируется от 0 до более чем 80%.

Морфологические изменения так же затронули лишайниковую флору. Особенно часто изменения таллома можно было наблюдать на участке вдоль дороги. Помимо небольших размеров многие виды были подвержены краевому некрозу. Некоторые представители имели более темный цвет, не соответствующий норме. Апотеции лишайника, которые играют важнейшую роль в размножении растений, тоже ощущают дискомфорт вблизи автомобильных выхлопов. Было замечено, что их количество на талломах сокращается, вместе с этим наблюдается уменьшение размеров открытого плодового тела.

Для более реального анализа была необходима балльная система оценки и ранжирование исследуемой территории по уровню антропогенной нагрузки. Индекс полеотолерантности (ИП) учитывает видовой состав лишайников, поэтому он был использован в качестве дополнительного метода. По получаемым данным можно также отследить концентрацию двуокиси серы (SO_2), которая, как считается, оказывает самое большое отрицательное действие на лишайнофлору и при высоких концентрациях губительно сказывается на большинстве растительных организмов [5]. Индекс полеотолерантности вдоль автотранспортной дороги составил значение 6,8. В глубине леса индекс показал значение 1,5. Полученные результаты, в соответствии с общедоступными сведениями, соответствуют концентрации SO_2 в атмосферном воздухе от 0,01 до 0,08 мг/м³ (табл. 3). Это свидетельствует о минимальном загрязнении в лесной зоне, отдаленной от антропогенного воздействия. Участок, расположенный в непосредственной близости к проезжей части, соответствует значению концентрации, близкому к среднему. Стоит заметить, что дорога к с. Дичня не является

центральной, а значит, и сосредоточие машин на ней не такое значительное. Однако даже при этом условии хорошо заметны изменения качественного состава атмосферы, которые включают в себя морфологические особенности лишайниковой флоры.

Таблица 3

Качество воздуха в соответствии с индексом полеотолерантности (ИП)

ИП	Концентрация SO_2 в мг/м ³	Качество воздуха
1–2	Менее 0,01 мг/м ³	Очень чистый
2–5	0,01–0,03 мг/м ³	Чистый
5–7	0,03–0,08 мг/м ³	Относительно чистый
7–10	0,08–0,10 мг/м ³	Умеренно загрязненный
10	0,10–0,30 мг/м ³	Сильно загрязненный
0	более 0,3 мг/м ³	Лишайниковая пустыня

Заключение

Таким образом, можно сделать вывод, что воздух вдоль автотранспортной дороги и в глубине леса, рядом с с. Дичня, отличается по качественному составу. При учете количества проезжающего автотранспорта воздушная среда около дороги осталась относительно чистой. Если судить по видовому составу, то, безусловно, воздух в чаще леса намного качественнее по химическому составу, чем у дороги. Это видно по частому появлению кустистых лишайников, которые, как правило, не переносят высокий уровень загрязнения. У дороги представитель данного типа встретился лишь единожды из выбранных десяти деревьев.

При данном уровне загрязнения атмосферного воздуха (концентрация SO_2 от 0,01 до 0,08 мг/м³) не происходит сильных визуальных морфологических изменений таллома, однако реакция кустистых форм лишайника проявляется в образовании более компактных или мелких тел, что и было замечено. Листоватые формы характеризуются умеренной жизнеспособностью и имеют физиологически и морфометрически здоровые талломы. Кустистые лишайники часто были представлены одиночными образованиями, и не было замечено ни одного скопления даже в лесной зоне.

С помощью лишайноиндикационных методов мы доказали, что автомобильные вы-

хлопы негативно влияют на органический мир, обедняя видовой состав. Расчет индекса полеотолерантности наглядно продемонстрировал увеличение концентрации диоксида серы, среднесуточная предельно допустимая концентрация которого (ПДК) составляет 0,05 мг/м³. Если даже на проселочных дорогах так существенно изменяется качественный состав воздуха, то в центре города это число будет многократно выше.

Список литературы

1. Копылова А.А., Протасова М.В. Аккумуляция тяжелых металлов эпифитными лишайниками на территории города Курска // Здоровые почвы – гарант устойчивости развития: материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Курск, 18–19 апреля 2022 г.). Курск: Курский государственный университет, 2022. С. 19–17.
2. Чеснокова С.М. Лихеноиндикация загрязнения окружающей среды: М.: Практикум; Владимир: Владимирский государственный университет, 1999. 38 с.
3. Блинова Э.А., Иванов Е.С., Арсенин А.И., Пирогова Ю.П. Лихеноиндикация как метод регистрирующей биоиндикации урбанизированных территорий (на примере г. Рязань и п.г.т. Шилово Рязанской области) // Центральный научный вестник. 2018. № 17–3. С. 3–6.
4. Ерошенко В.И., Ивошин К.М. Оценка состояния атмосферного воздуха на улице Кибальчича Алексеевского района города Москвы методом лихеноиндикации // Евразийский союз ученых (ЕСУ). 2019. № 6–63. С. 33–37.
5. Мальшкин Н.Г. Оценка состояния атмосферного воздуха в районе деятельности промышленного предприятия методом лихеноиндикации // Успехи современного естествознания. 2018. № 11–2. С. 361–365.
6. Толпышева Т.Ю., Шишконова Е.А. Лишайники природного парка «Нумто». Краткий определитель. М.: Бюджетное учреждение ХМАО-Югры «Природный парк «Нумто», 2018. 189 с.
7. Горленко М.В. Водоросли, лишайники и мохообразные СССР. М.: Мысль, 1978. 366 с.

УДК 574.58

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИХ
СООБЩЕСТВ ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ ЧЕРНОГО МОРЯ
РЕСПУБЛИКИ КРЫМ И ГОРОДА СЕВАСТОПОЛЯ
(КАРКИНИТСКИЙ ЗАЛИВ, КАЛАМИТСКИЙ ЗАЛИВ,
СЕВАСТОПОЛЬСКАЯ БУХТА, ФЕОДОСИЙСКИЙ ЗАЛИВ)**

Денисенко О.С.

*ООО «Азово-Черноморский научный центр рыбохозяйственных исследований», Краснодар,
e-mail: rosfishcenter@mail.ru*

Интерес к биоразнообразию и функционированию гидробиологических сообществ прибрежных акваторий Черного моря в связи с возросшей интенсивностью промышленного и прибрежного рыболовства, а также бурным развитием марикультуры в акватории Азово-Черноморского рыбохозяйственного бассейна становится особенно актуален в последние годы. Изучение этой информации необходимо в первую очередь для получения полноценной оценки и многостороннего анализа естественной кормовой базы рыб с целью дальнейшего использования промышленностью рыбных ресурсов Черного моря. Также использование полученных данных особенно актуально при проведении работ по оценке воздействия хозяйственной деятельности в акваториях водных объектов на состояние водных биологических ресурсов, а также отдельных компонентов среды их обитания. В связи с этим нами были проанализированы, обобщены и изложены основные результаты собственных многолетних гидробиологических научно-исследовательских работ, проводимых во временной отрезок с 2014 по 2022 г. по комплексному биологическому изучению характеристик биоты различных акваторий Черного моря, омывающих территорию Республики Крым и Севастополя (Каркинитский залив, Каламитский залив, Севастопольская бухта, Феодосийский залив). На основании обработки большого количества первичных материалов нами было изучено основные гидробиологические показатели организмов фито- и зоопланктона, макрофитобентоса, мейобентоса, макрозообентоса в различных акваториях Черного моря.

Ключевые слова: Черное море, Республика Крым, фитопланктон, зоопланктон, макрофитобентос, мейобентос, макрозообентос, численность, биомасса, сезонная динамика

**HYDROBIOLOGICAL CHARACTERISTICS
OF THE COASTAL WATERS OF THE BLACK SEA
OF THE REPUBLIC OF CRIMEA AND SEVASTOPOL
(KARKINITSKY BAY, KALAMITSKY BAY,
SEVASTOPOL BAY, FEODOSIYSKY BAY)**

Denisenko O.S.

*LLC "Azov-Black Sea Scientific Center for Fisheries Research", Krasnodar,
e-mail: rosfishcenter@mail.ru*

The interest in biodiversity and functioning of hydrobiological communities of the coastal waters of the Black Sea due to the increased intensity of industrial and coastal fishing, as well as the rapid development of mariculture in the waters of the Azov-Black Sea fisheries basin, has become especially relevant in recent years. The study of this information is necessary first of all to obtain a full assessment and a comprehensive analysis of the natural fish food base for the purpose of further use by the industry of the Black Sea fish resources. Also, the use of the data obtained is especially relevant when carrying out work on assessing the impact of economic activity in the waters of water bodies on the state of aquatic biological resources, as well as individual components of their habitat. In this regard, we have analyzed, summarized and outlined the main results of our own long-term hydrobiological research work carried out in the time period from 2014 to 2022 on a comprehensive biological study of the characteristics of the biota of various waters of the Black Sea, washing the territory of the Republic of Crimea and Sevastopol (Karkinit Bay, Kalamit Bay, Sevastopol Bay, Feodosiysky Bay). Based on the processing of a large number of primary materials, we studied the main hydrobiological indicators of phyto- and zooplankton, macrophytobenthos, meiobenthos, macrozoobenthos organisms in various waters of the Black Sea.

Keywords: Black Sea, Republic of Crimea, phytoplankton, zooplankton, macrophytobenthos, meiobenthos, macrozoobenthos, abundance, biomass, seasonal dynamics

Цель исследования – изучение современного состояния качественных и количественных характеристик ведущих компонентов гидробиологических сообществ прибрежной экосистемы Черного моря у побережья полуострова Крым (Каркинитский залив, Каламитский залив, Севастопольская бухта, Феодосийский залив).

Материалы и методы исследования

Сбор первичного материала осуществлялся во все основные периоды (весна, лето, осень) с июня 2014 г. по июнь 2022 г. на следующих четырех станциях: станция 1 – Каркинитский залив, станция 2 – Каламитский залив, станция 3 – Севастопольская бухта, станция 4 – Феодосийский залив).

Сбор первичного материала, обработка гидробиологических проб [1–3], определение видовой принадлежности и биомассы организмов [4–6], а также последующая математическая обработка полученных данных [7] осуществлялись с использованием специализированных методик [8–10].

За период исследований из поверхностного слоя акваторий Черного моря для определения показателей фитопланктона нами было отобрано 128 проб морской воды. Фитопланктон концентрировали при помощи воронки обратной фильтрации с последующей фиксацией формалином до итоговой концентрации. Обработка проб осуществлялась при помощи светового микроскопа.

За период исследований из акваторий Черного моря для определения показателей зоопланктона нами было отобрано 128 проб морской воды. Отбор проб проводился на горизонте глубиной от 0 до 10 м сетью Джели. Пробы фиксировали раствором формалина в соответствующих емкостях. Обработка проб зоопланктона осуществлялась в лабораторных условиях под бинокуляром в камере Богорова.

За период исследований из акваторий Черного моря были отобраны про-

бы зообентоса (макрозообентос, мейобентос) в количестве 64 шт. в диапазоне глубин 2–10 м с помощью дночерпателя Питерсона. Полученные пробы промывали через сито с дальнейшей фиксацией этанолом. Пробы мейобентоса вырезали из монолита дночерпательной пробы отборником фиксированной площади с последующей промывкой через сито для удаления из пробы организмов макробентоса и фиксацией этанолом.

Результаты исследования и их обсуждение

Фитопланктон

В целом в акваториях исследованных участков Черного моря фитопланктон был представлен большим количеством видов и разновидностей (табл. 1).

Самыми часто встречаемыми в исследованных акваториях были диатомовые водоросли с доминированием в составе сообществ водорослей из рода *Chaetoceros*. Также многочисленными были виды водорослей *Chaetoceros compressus*, *Ch. curvisetus*, *Ch. socialis*, *Pseudonitzschia delicatissima*.

Таблица 1

Таксономический состав фитопланктона в рассматриваемых акваториях
(ст. 1 – Каркинитский залив, ст. 2 – Каламитский залив,
ст. 3 – Севастопольская бухта, ст. 4 – Феодосийский залив)

Группа водорослей, вид	Ст. 1	Ст. 2	Ст. 3	Ст. 4
Диатомовые				
<i>Cerataulina pelagica</i> (Cl.) Hend.	+			
<i>Chaetoceros affinis</i> Laud.				+
<i>Chaetoceros compressus</i> Laud.	+	+	+	+
<i>Chaetoceros curvisetus</i> Cl.	+	+	+	+
<i>Chaetoceros danicus</i> Cl.				+
<i>Chaetoceros dubius</i> Pr.-Lavr.	+			
<i>Chaetoceros laevis</i> Leud.-Fort.	+			
<i>Chaetoceros peruvianus</i> Brightw.	+			+
<i>Chaetoceros rigidus</i> Ostenf.				+
<i>Chaetoceros similis</i> Cl.			+	
<i>Chaetoceros socialis</i> Laud.	+	+	+	+
<i>Chaetoceros subtilis</i> Cl.			+	+
<i>Chaetoceros</i> sp.			+	+
<i>Cocconeis scutellum</i> Ehr.		+	+	
<i>Cyclotella caspia</i> Grun.		+	+	+
<i>Licmophora gracilis</i> (Ehr.)Grun.			+	
<i>Licmophora</i> sp.				+
<i>Navicula</i> sp.	+		+	

Окончание табл. 1

Группа водорослей, вид	Ст. 1	Ст. 2	Ст. 3	Ст. 4
<i>Nitzschia tenuirostris</i> Gran				+
<i>Proboscia alata</i> (Bright.) Sundstrom			+	
<i>Pseudo-nitzshia delicatissima</i> (Cl.)Heid.	+	+	+	+
<i>Pseudosolenia calcar-avis</i> (Schultze) Sundstrom	+	+		
<i>Skeletonema costatum</i> (Grev.) Cl.			+	
<i>Thalassionema nitzschioides</i> (Grun.) Mereschkowsky		+	+	+
<i>Thalassiosira eccentrica</i> (Ehr.) Cl.			+	+
<i>Thalassiosira parva</i> Pr. – Lavr.			+	
Динофитовые				
<i>Ceratium furca</i> (Ehr.) Clap.& Lachm	+	+	+	+
<i>Dinophysis sacculus</i> Stein		+		
<i>Diplopsalis lenticula</i> Bergh		+		
<i>Glenodinium</i> sp.		+	+	+
<i>Goniaulax minima</i> Matz.	+	+	+	+
<i>Goniaulax polygramma</i> Stein		+		
<i>Gymnodinium flavum</i> Kof. & Sw.	+			
<i>Gymnodinium najadeum</i> Schill.		+		+
<i>Gymnodinium simplex</i> (Lohm.) Kof. & Sw.	+	+	+	
<i>Gymnodinium</i> sp.	+	+	+	+
<i>Gyrodinium fusiforme</i> Kof. & Sw.	+	+	+	+
<i>Gyrodinium</i> sp.	+		+	+
<i>Heterocapsa triquetra</i> (Ehr.) Balech	+	+	+	
<i>Peridinium minusculum</i> Pavill.			+	
<i>Prorocentrum compressum</i> (Bail.)Abe ex Dodge	+	+	+	+
<i>Prorocentrum cordatum</i> (Ostenf.) Dodge	+	+	+	+
<i>Prorocentrum marinum</i> (Clenk.) Loeb.III		+	+	+
<i>Prorocentrum micans</i> Ehr.	+	+	+	+
<i>Protoperidinium divergens</i> (Ehr.) Balech				+
<i>Protoperidinium steinii</i> (Ehr.) Balech	+	+	+	
<i>Scrippsiella trochoidea</i> (Stein) Balech	+	+		+
Примнезиофитовые				
<i>Emiliania huxleyi</i> (Lohm.) Hay & Mohler	+	+	+	+
<i>Calyptrosphaera incise</i> Schill.		+		
<i>Calyptrosphaera</i> sp.	+	+	+	
<i>Oolithotus fragilis</i> (Lohm.) Reinh.	+		+	
<i>Pontosphaera</i> sp.		+		
<i>Syracosphaera dentata</i> Lohm.			+	
<i>Syracosphaera</i> sp.	+	+	+	
Прочие				
<i>Apedinella spinifera</i> (Thron.) Thron.	+	+		
<i>Dinobryon</i> sp.		+		
<i>Eutreptia lanowii</i> Steuer	+	+		
<i>Gloeocapsa</i> sp.		+		
<i>Hillea fusiformis</i> Schill.	+	+	+	
Мелкие жгутиковые	+	+	+	+

Таблица 2

Численность (N, млн кл./м³) и биомасса (B, мг/м³) основных групп фитопланктона в рассматриваемых акваториях (ст. 1 – Каркинитский залив, ст. 2 – Каламитский залив, ст. 3 – Севастопольская бухта, ст. 4 – Феодосийский залив)

Станции	Диатомовые		Динофитовые		Примнезиофитовые		Общая сумма	
	N	B	N	B	N	B	N	B
1	262	201	22	63	127	22	431	298
2	326	134	33	80	55	12	446	229
3	672	233	26	139	30	8	746	383
4	434	167	33	118	41	8	541	297

Таблица 3

Видовой состав и численность (экз./м³) зоопланктона в рассматриваемых акваториях (ст. 1 – Каркинитский залив, ст. 2 – Каламитский залив, ст. 3 – Севастопольская бухта, ст. 4 – Феодосийский залив)

№ п.п.	Виды и таксоны	Станции			
		1	2	3	4
1	<i>Calanus euxinus</i>	–	9	–	–
2	<i>Acartia clausi</i>	65	42	150	145
3	<i>Centropages ponticus</i>	11	8		10
4	<i>Paracalanus parvus</i>	25	57	80	65
5	<i>Oithona similis</i>	5	11	10	20
6	<i>Oithona davisae</i>	2	10	–	5
7	Harpacticoidae	3	2	5	40
8	<i>Pleopis polyphemoides</i>	30	105	245	245
9	Rotatoria	120	150	–	–
10	L. Gastropoda	15	16	120	55
11	L. Bivalvia	20	18	90	20
12	L. Cirripedia	393	255	190	–
13	L. Polychaeta	17	9	50	50
14	L. Natantia	1	7	1	3
15	L. Reptantia	1	13	3	5
16	<i>Oikopleura dioica</i>	2	11	–	10
17	<i>Sagitta setosa</i>	2	3	–	–
18	<i>Noctiluca scintillans</i>	150	150	115	65
19	Medusae	–	1	–	–
	Общее число таксонов	17	19	12	14

Динофитовые водоросли были представлены меньшим количеством видов и разновидностей с преобладанием в составе сообществ водорослей следующих родов: *Prorocentrum* и *Gymnodinium*. Также многочисленными были следующие водоросли: *Ceratium furca*, *Goniaulax minima*, *Gymnodinium sp.*, *Gyrodinium fusiforme*, *Prorocentrum compressum*, *Pr. cordatum* и *Pr. miscans*. Представители «прочих» встречались

единично. Наличие пресноводной зеленой водоросли *Eutreptia lanowii* свидетельствует о попадании пресных вод в акваторию с хозяйственно-бытовыми стоками. Во всех исследованных акваториях Черного моря была отмечена *Emiliania huxleyi* и мелкие жгутиковые клетки.

Показатели развития организмов фитопланктона в рассматриваемых акваториях Черного моря характеризовались равномер-

ным распределением (табл. 2). Максимальные показатели были зарегистрированы в Севастопольской бухте, где среднегодовая численность организмов фитопланктона составила 746 млн кл./м³ при среднегодовой биомассе 0,383 г/м³.

Показатели численности и биомассы фитопланктона на всех станциях также в значительной мере были обусловлены развитием диатомовых водорослей *Chaetoceros compressus*, *Ch. curvisetus*, *Ch. socialis*. *Pseudo-nitzschia delicatissima* на всех станциях, где их среднегодовая численность колебалась от 230 млн кл./м³ (ст. 1) до 444 млн кл./м³ (ст. 3), среднегодовая биомасса – от 82 мг/м³ (ст. 1) до 158 мг/м³ (ст. 3), а также ряда видов динофитовых водорослей, прежде всего *Ceratium furca*, *Prorocentrum micans*, *Prorocentrum divergens*.

Таким образом, фитопланктон в рассматриваемых акваториях был представлен большим количеством видов и разновидностей. Основу фитоценоза составляли диатомовые и динофитовые водоросли. Полученные в результате исследований показатели характеризуют изученные акватории Черного моря прежде всего как мезотрофные.

Зоопланктон

Видовое богатство зоопланктона в рассматриваемых акваториях было стабильным и изменялось незначительно (табл. 3).

Их численность изменялась от 738 до 1059 экз./м³, а биомасса от 11,58 до

24,44 мг/м³ (табл. 4). Средние величины зоопланктона в период исследования по численности составили 884,2 экз./м³, а по биомассе 19,36 мг/м³. В целом это невысокие величины для прибрежной части моря в весенний период.

В суммарной численности зоопланктона лидировали личинки донных животных, составляя в среднем 38,2%. Бентопелагические животные были представлены личинками моллюсков (*Bivalvia* и *Gastropoda*), усоногих раков (науплиусы *Balanus* sp.), личинками полихет и декапод (*Natantia* и *Reptantia*). Их средние биомассы равнялись соответственно у личинок моллюсков 0,06 и 0,04, циррипедий – 1,32, полихет – 0,50; декапод 0,21 и 0,34 мг/м³.

На долю копепод приходилось только 22 % средней численности (195 экз./м³) и 5,4 % биомассы (1,04 мг/м³). Среди копепод лидировал эврибионтный вид *Acartia clausi* (при средней численности – 100,5 экз./м³ и биомассе – 0,45 мг/м³). Плотность другой эпипелагической копеподы *Paracalanus parvus* была вдвое ниже (56,8 экз./м³ при биомассе 0,4 мг/м³). В связи с повышением температуры воды в море появились теплолюбивые виды копепод: *Centropages ponticus* и *Oithona davisae*, последний вид – недавний вселенец в регионе. Их количественные показатели были низкими. Из холодолюбивых копепод на всех станциях при невысокой численности встречалась *Oithona similis*.

Таблица 4

Количественные показатели зоопланктона в рассматриваемых акваториях
(ст. 1 – Каркинитский залив, ст. 2 – Каламитский залив,
ст. 3 – Севастопольская бухта, ст. 4 – Феодосийский залив)

Показатели	Станции			
	1	2	3	4
Численность, экз./м ³	862	877	1059	738
Биомасса, мг/м ³	22,46	24,44	18,95	11,58

Таблица 5

Численность и биомасса кормового зоопланктона в рассматриваемых акваториях
(ст. 1 – Каркинитский залив, ст. 2 – Каламитский залив,
ст. 3 – Севастопольская бухта, ст. 4 – Феодосийский залив)

Показатели	Станции				Средняя
	1	2	3	4	
Численность, экз./м ³	712	726	944	673	763,8
Биомасса, мг/м ³	4,76	6,44	5,38	3,91	5,12

Существенный вклад в суммарные показатели зоопланктона вносила появляющаяся весной кладоцера *Pleopis polyphemoides*, которая составляла 17,7% по численности и 7,3% по биомассе. В период исследования наблюдалось массовое развитие морских коловраток, что характерно для сезонной динамики развития зоопланктона в прибрежной части Черного моря весной. При этом их вклад в суммарные показатели зоопланктона был небольшим по численности (7,6%) и крайне низким по биомассе (0,1%).

По биомассе доминировала ноктилюка – 73,1%, поскольку она не входит в кормовой зоопланктон, в табл. 5 отдельно приведены его количественные показатели.

Количественные показатели кормового зоопланктона, т.е. той его части, которая активно потребляется личиками рыб и взрослыми планктоноядными рабами, отличались от суммарных показателей зоопланктона по численности не так сильно, как по биомассе за счет относительно крупной ноктилюки. В целом уровень развития кормового зоопланктона в период исследования был очень низким.

В годовом цикле развития зоопланктона в прибрежных акваториях хорошо прослеживалась сезонная динамика, характерная для морей бореальной зоны. В прибрежной зоне Черного моря, при значительной вариабельности численности и биомассы зоопланктона, месячные величины численности характеризовались максимумом в октябре-ноябре и минимумом в марте-апреле, при этом 75–95% численности приходилось на копепод.

Сезонный ход изменений биомассы оказывался обратным с максимумом весной и в начале лета, что определялось обилием крупной ноктилюки. В целом количество пиков в сезонной динамике непостоянно и может колебаться в прибрежных водах у берегов Крыма от одного до трех-четырех. Вселение гребневика мнемипсиса и его массовое развитие на рубеже 1980–1990-х гг. привело к существенному нарушению сезонной динамики зоопланктона, когда в летние месяцы численность и биомасса зоопланктона существенно уменьшались из-за прессы на него мнемипсиса. Последующее вселение гребневика-берое, который питается мнемипсисом, выедающим зоопланктон, сбалансировало его потребление и способствовало увеличению количественных показателей кормового зоопланктона в конце лета – начале осени.

Подводя итог исследованию сообществ зоопланктона рассматриваемых акваторий

Черного моря, можно констатировать факт выявления относительно небольшого числа видов, численность и биомасса кормового зоопланктона при этом находились на довольно низком уровне.

Макрофитобентос

На рассматриваемых акваториях Черного моря отмечены четыре растительные формации, образованные высшими водными растениями и морскими водорослями. Среди сообществ морских трав преобладает формация *Potamogetoneta*, ассоциация *Potamogetoneta pectinati*, проективное покрытие 60–80%, доминирующий вид *Potamogeton pectinatus* (рдест гребенчатый), общая биомасса 360,5 г/м². Общее число видов – 28. Также присутствует формация *Zostereta*, ассоциация *Zosteretum marinae*, проективное покрытие 70–80%, доминирующий вид *Zostera marina* (зостера морская), общая биомасса 3000,8 г/м². Общее число видов – 34. На глубине до 1 м у берега отмечена формация *Ruppiaeta*, ассоциация *Ruppiaetum spiralis*, проективное покрытие 60–80%, доминирующий вид *Ruppia spiralis*, общая биомасса 330 г/м². Общее число видов – 15.

На твердом субстрате встречается формация морских водорослей *Cystoseireta*, ассоциация *Cystoseira barbata*, проективное покрытие 30–50%, доминирующий вид *Cystoseira barbata* (цистозира бородачатая), биомасса 3,8 кг/м². Общее число видов – 47.

Мейобентос

В рассматриваемых акваториях Черного моря обнаружено от 4 до 8 групп мейобентоса (табл. 6). Практически во всех пробах встречены представители постоянного компонента – *Nematoda*, *Harpacticoida* и *Ostracoda*, на станции № 1 встречены *Kinorhyncha* и *Halacaridae*. Из временного состава мейобентоса обнаружены на всех станциях: *Nemertini* (кроме ст. 4), *Olygohaeta* (кроме ст. 3) и *Polychaeta* (кроме ст. 4). Остальные представители псевдомейобентоса (*Cumacea*, *Anisopoda*) встречались единичными экземплярами.

Общая численность варьировала от 13337 до 42261 экз./м². Наибольшая численность отмечена на ст. 2 – более 188 тыс. экз./м², наименьшая – на ст. 3 – 13,34 тыс. экз./м². Численность эвмейобентоса на всех станциях превышала 60% (табл. 7).

Значения биомассы, рассчитанные для постоянного компонента мейобентоса, колебались в пределах 0,5–10 г/м² (табл. 8).

Таблица 6

Численность мейобентоса (экз./м²) в рассматриваемых акваториях
(ст. 1 – Каркинитский залив, ст. 2 – Каламитский залив,
ст. 3 – Севастопольская бухта, ст. 4 – Феодосийский залив)

Группы	Станции			
	1	2	3	4
Эвмейобентос (постоянный компонент)				
Нематоды	0	517	0	0
Гарпактикоиды	29 854	117 865	4 963	14 888
Киноринхи	388	7 237	4 032	0
Клещи	1 163	3 619	620	0
Остракоды	775	0	0	0
Псевдомейобентос (временный компонент)				
Олигохеты	775	50 661	2 171	13 647
Полихеты	6 203	2 585	0	4 963
Немертины	1 939	0	0	0
Кумовые	1 163	5 686	1 241	7 444
Анизоподы	0	517	310	0
Всего:	42 261	18 8687	13 337	40 942

Таблица 7

Соотношение постоянного и временного компонентов мейобентоса
по численности (%) в рассматриваемых акваториях
(ст. 1 – Каркинитский залив, ст. 2 – Каламитский залив,
ст. 3 – Севастопольская бухта, ст. 4 – Феодосийский залив)

Группа	Станции			
	1	2	3	4
Нематоды	70,6	62,5	37,2	36,4
Гарпактикоиды	1,8	26,8	16,3	33,3
Киноринхи	4,6	0,0	0,0	0,0
Клещи	1,8	0,0	0,0	0,0
Остракоды	2,8	3,0	9,3	18,2
Эвмейобентоса всего:	81,7	92,3	62,8	87,9
Олигохеты	14,7	1,4	0,0	12,1
Полихеты	0,9	3,8	30,2	0,0
Немертины	2,8	1,9	4,7	0,0
Кумовые	0,0	0,3	2,3	0,0
Анизоподы	0,0	0,3	0,0	0,0
Псевдомейобентоса всего:	18,3	7,7	37,2	12,1

Макрозообентос

В рассматриваемых акваториях Черного моря отмечено высокое видовое разнообразие, при этом в составе макрозообентоса нами обнаружены различные представители *Mollusca* (*Bivalvia* и *Gastropoda*), *Crustacea*, *Polychaeta*, *Olygochaeta* и *Nemertina* с ва-

риабельностью показателей общей среднегодовой биомассы макрозообентоса от 1,04 до 12,80 г/м² и среднегодовой численности от 320 до 450 экз./м². По всем из четырех исследованных станций среднегодовая численность макрозообентоса составила 384 экз./м², средняя биомасса – 5,83 г/м².

Таблица 8

Биомасса (мг/м²) эвмейобентоса (постоянного компонента мейобентоса) в рассматриваемых акваториях (ст. 1 – Каркинитский залив, ст. 2 – Каламитский залив, ст. 3 – Севастопольская бухта, ст. 4 – Феодосийский залив)

Группа	Станции			
	1	2	3	4
Нематоды	2 089,7	8 250,5	347,4	1 042,2
Гарпактикоиды	23,3	1519,8	65,1	409,4
Киноринхи	58,2	0	0	0
Клещи	15,52	0	0	0
Остракоды	58,2	284,3	62,0	372,2
Всего:	2 244,9	10 054,7	474,6	1 823,8

Во всех рассматриваемых акваториях Черного моря по показателям значений численности и биомассы доминируют моллюски *Mollusca* (*Bivalvia* и *Gastropoda*) с вариабельностью показателей от 6,0 до 12,0 г/м². Максимально были представлены следующие виды двусторчатых моллюсков: *Parvicardium exiguum*, *Gouldia minima*, *Lucinella divaricata*, *Pitar rudis*, с экологической точки зрения являющиеся маркерами для прибрежных морских экосистем на незагрязненных участках Черного моря.

Субдоминирующее положение занимают представители *Polychaeta*, из которых по численности доминируют *Staurocephalus keffersteini*, по биомассе доминируют *Audoinia tentaculata*. Представители *Crustacea* в рассматриваемых акваториях Черного моря по численности не превышали 10–12%, по биомассе составляли менее 3–5%.

Список литературы

1. Осуществление государственного мониторинга водных биологических ресурсов и среды их обитания в Азово-Кубанском рыбохозяйственном районе // Материалы учебно-методической конференции для ФГБУ «Азчеррыбвод». Ростов-на-Дону, 2015. 48 с.
2. Алигаджиев М.М., Османов М.М., Амаева Ф.Ш. Об усовершенствовании методов гидробиологических ис-

следований и стандартных орудий сбора проб // Юг России: экология, развитие. 2015. Т. 10. № 2. С. 54–61.

3. Москул Г.А., Пашинова Н.Г., Абрамчук А.В., Иваненко А.М. Учебная практика по аквакультуре: учебно-методическое пособие. Краснодар, 2016.

4. Мордухай-Болтовской Ф.Д. Определитель фауны Черного и Азовского морей (*Protozoa, Porifera, Coelenterata, Ctenophora, Nemertini, Nemathelminthes, Annelida, Tentaculata*). Киев: Наукова думка, 1968. Т. 1. 423 с.

5. Мордухай-Болтовской Ф.Д. Определитель фауны Черного и Азовского морей (*Arthropoda: Cladocera, Calanoida, Cyclopoida, Monstrilloida, Harpacticoida, Ostracoda, Cirripedia, Malacostraca, Decapoda*). Киев: Наукова думка, 1969. Т. 2. 536 с.

6. Мордухай-Болтовской Ф.Д. Определитель фауны Черного и Азовского морей (*Arthropoda, Mollusca, Echinodermata, Chaetognatha, Chordata: Tunicata, Ascidiacea, Appendicularia*). Киев: Наукова думка, 1972. Т. 3. 340 с.

7. Зинченко Т.Д., Шитиков В.К., Абросимова Э.В. Статистический анализ популяционной структуры водных экосистем // Астраханский вестник экологического образования. 2015. № 1 (31). С. 33–41.

8. Афанасьев Д.Ф., Хренкин Д.В., Мартынюк М.Л., Мирзоян З.А., Бычкова М.В., Шляхова Н.А., Кожурин Е.А. Иллюстрированный атлас массовых видов зоопланктона Азовского и Черного морей. Ростов-на-Дону, 2020. 112 с.

9. Серeda М.М., Афанасьев Д.Ф., Кожурин Е.А. Иллюстрированный атлас гидрофильных высших растений Азово-Черноморского бассейна. Ростов-на-Дону, 2021. 92 с.

10. Афанасьев Д.Ф., Сушкова Е.Г., Камнев А.Н. Морские и солоноватоводные виды водорослей семейства *Cladophoraceae* и рода *Aegagropila* Понто-Каспийского бассейна. Полевой определитель. М., 2020. 76 с.

УДК 631.453 (575.1)

ИЗМЕНЕНИЕ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ

Жаббаров З.А., Номозов У.М., Бахранова М.Ф., Абдукаримов Ж.Ж.*Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Ташкент,
e-mail: zafarjonjabbarov@gmail.com*

В статье определена активность ферментов каталазы, инвертазы и уреазы в орошаемых лугово-такрырных почвах, разбросанных вокруг Кумкурганской нефтебазы и Южно-Миршодского нефтяного месторождения в Сурхандарьинской области. Исследования проводились в лабораторном помещении кафедры почвоведения Национального университета Узбекистана, и результаты показали, что активность фермента каталазы была наибольшей в фоновых почвах с 1,95 мл O_2 /г почвы и наименьшей при 1,05 мл O_2 /г почвы на участке 1-Ркнб, активность фермента инвертазы была самой высокой на участках 6-Рюм и 6-Ркнб 0,95 мг глюкозы/г почвы в разрезах 0,65 мг глюкозы/г почвы в разрезе 1-Ркнб, наивысший показатель активности уреазного фермента в фоновых почвах 3,1 мг NH_3 /г почвы, а наименьший в почвах участка 1-Ркнб был равен 98 мг NH_3 /г почвенного индикатора. Из этого следует вывод, что активность ферментов в почвах вокруг нефтяной шахты и нефтехранилища увеличивается по мере удаления от низкого показателя. Научно доказано, что активность ферментов каталазы, инвертазы и уреазы в орошаемых лугово-такрырных почвах обусловлена загрязнением нефтяными углеводородами.

Ключевые слова: нефть, загрязнение, нефтяная шахта, нефтехранилище, почва, каталаза, уреазы, инвертаза, ферментативная активность

CHANGES IN THE ENZYMATIC ACTIVITY OF OIL-CONTAMINATED SOILS

Jabbarov Z.A., Nomozov U.M., Baxranova M.F., Abdugarimov J.J.*National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Tashkent,
e-mail: zafarjonjabbarov@gmail.com*

In the article, the activity of catalase, invertase and urease enzymes was determined in the irrigated meadow-barren soils scattered around the Kumkurgan oil storage depot and South Mirshodi oil field in Surkhondarya region. The study was carried out in the laboratory room of the Department of Soil Science of the National University of Uzbekistan, and the results showed that the activity of the catalase enzyme was the highest in the background soil at 1.95 ml O_2 /g of soil and the lowest indicator was at the 1- Kosd section at 1.05 ml O_2 /g of soil, the activity of the invertase enzyme was the highest the highest indicator is 0.95 mg glucose/g soil in the 6- Psm and 6- Kosd sections, the lowest indicator is 0.65 mg glucose/g soil in the 1- Kosd section, the urease enzyme activity is the highest indicator in background soils 3.1 mg NH_3 /g soil and the least in the soils of the 1- Kosd section was equal to 1.98 mg NH_3 /g soil index. If we conclude from this, the activity of enzymes in the soils around the oil field and oil storage is observed to increase with the distance from the low indicator. It is scientifically proven that the activity of catalase, invertase and urease enzymes in irrigated meadow-barren soils is caused by pollution with petroleum hydrocarbons.

Keywords: oil, pollution, oil field, oil storage, soil, catalase, urease, invertase, enzyme activity

Загрязнение почв нефтью и нефтепродуктами с каждым годом увеличивается, что объясняется возрастающим спросом на нефтепродукты. В богатых нефтью и нефтедобывающих странах нефтепродукты прямо и косвенно приводят к беспрецедентному экономическому росту и развитию, но одним из самых нежелательных результатов при эксплуатации является загрязнение окружающей среды [1]. Загрязнение окружающей среды нефтью и нефтепродуктами является одной из наиболее острых экологических проблем: когда нефть и нефтепродукты попадают в почву, это вызывает изменение биологических, химических, физических и физико-химических свойств почвы [2], биологическая активность почвы является показателем происходящих в ней изменений. При проведении биоценологических исследований в нефте-

загрязненных условиях разрабатываются методы оценки степени загрязнения почвы нефтью и ускорения процессов ее биодegradации, при которых биоценологическое исследование основано на биологической диагностике почв. В результате проведенных лабораторных и полевых исследований установлено, что процесс самовосстановления биологической активности почвы с низким (0,2%/1 кв. м) нефтяным загрязнением происходит в течение 3 лет [3], при изучении влияния нефти и нефтепродуктов на биологические свойства при повышении уровня загрязнения активность ферментов дегидрогеназы, уреазы, гидроксифосфатазы и каталазы снижалась в 1,5-2,3 раза по сравнению с контролем [4]. Внесение штамма углеводородоокисляющих бактерий в аллювиальные луговые почвы, загрязненные нефтью и нефтепродуктами, привело

к снижению содержания нефтепродуктов на 18-82%. Отмечено увеличение активности ферментов в почве [5].

На засоленных территориях при повышении скорости загрязнения почвы нефтью и нефтепродуктами высокие результаты достигаются за счет посева нефтедеградирующих штаммов + минеральные удобрения + аэрация почвы, фиторемедиационные растения, при этом активность ферментов в почве повышается [6].

В опытах при изучении эффективности биопрепарата «БИОРОС» в нефтезагрязненных почвах он приводит к повышению активности нефтедеградирующих микроорганизмов, увеличению синтеза ферментов каталазы и дегидрогеназы [7]. При внесении грибов *Fusarium equiseti* и *Cylindrocarpon magnusianum* на 10% нефтезагрязненных почвах межфазная активность гриба *Fusarium equiseti*, в сочетании с фиторемедиатором и биопрепаратом, почти в 1,2 и 1,5 раза превышала вариант с применением гриба *Cylindrocarpon magnusianum* в полном комплексе мелиорантов [8]. По данным ученых, биоуголь, как потенциальный сорбент для удаления и разложения нефти в почвах, повысил скорость очистки на 52,2% и активность фермента каталазы в 1,8 раза по сравнению с контролем [9], биоуголь усиливает микробную и ферментативную активность почвы, активность по разложению углеводов [10]. При непосредственном использовании ферментов природные ферменты микроорганизмов используются для разложения загрязнителей окружающей среды [11]. При рекультивации почвы, загрязненной моторным маслом, ферменты плодовой подстилки, полученные из разложившихся отходов апельсиновой и арбузной кожуры, имеют максимальную эффективность при снижении концентрации (удалении) моторного масла на 54-57%, при этом ферментный раствор апельсиновой подстилки содержит каталазу, протеазу, активность липазы и амилазы, также арбузный опад содержит активность ферментов каталазы, протеазы и липазы [12]. При биоремедиации нефтезагрязненных территорий кремний считается полезным для ускорения мелиорации почвы, активность ферментов каталазы и дегидрогеназы тесно связана с водорастворимым кремнием в почве [13]. В опытах установлено, что лесная подзолистая почва сохраняет свой биохимический потенциал в условиях концентрации нефти и способна к эффективному самовосстановлению при достижении оптимальной влажности и температуры. На начальном этапе опыта в результате внесения в почву мине-

ральных удобрений и БАД достоверного увеличения скорости разложения нефти в почвах не выявлено.

Целлюлозная активность варианта самообработки и варианта с добавлением БАД оставалась достоверно выше через 30 и 60 суток после внесения нефтепродукта в почву [14]. При рекультивации техногенно нарушенных земель в лабораторных и полевых опытах испытаны такие фиторемедиационные растения, как люцерна, райграс и ячмень, оказывающие стимулирующее действие на восстановление биологической активности без расщепления химических веществ [15].

Нефть и нефтепродукты разливаются из-за технических отказов оборудования в нефтяных шахтах и на нефтебазах, аварий в результате износа нефтепроводов и оборудования при транспортировке нефтепродуктов, взрыва вследствие теплового фактора при хранении нефтепродуктов, а также появления инфильтрационных вод в почве на близлежащих территориях вследствие действия инфильтрационных вод, биологических и физических повреждений почвы, что и влияет на ее химические свойства, в результате происходит уплотнение почвы, затруднение дыхания, нарушение воздушного и водного режимов, снижение численности микроорганизмов, обитающих в почве, замедление роста растений и увеличение гибели растений. Если почва экологически чистая, здоровая, имеет умеренные свойства и высокую продуктивность, то может проявляться биологическая активность, если активность ферментов в почве умеренная, то почва экологически чистая, имеет хорошие свойства и высокую продуктивность. Химическое загрязнение почвы вызывает сокращение и гибель обитающих в ней микроорганизмов, что вызывает снижение активности ферментов.

Материалы и методы исследования

Район исследований – орошаемые лугово-такрыные почвы, расположенные вокруг Кумкурганской нефтебазы, и нефтяная шахта Южный Миршоди в Сурхандарьинской области. В Сурхандарьинской области сухой субтропический климат, теплая зима, жаркое лето, сухие и продолжительные осадки, около 110-149,3 мм, абсолютный максимум температуры воздуха в июле +44,4...+44,6°C, абсолютный минимум температуры воздуха в январе -5,3...-16,8°C [16]. Земли исследуемого района широко используются в сельском хозяйстве под хлопководством, зерноводством, овощеводством.

Изменения активности ферментов в слоях разрезов почвы,
разбросанных вокруг источников загрязнения

Разрез	Расстояние от источников загрязнения, м	Глубина, см	Каталаза, мл O ₂ / г почвы	Уреаза, мг NH ₃ / г почвы	Инвертаза, мг гулюкоз / г почвы
Нефтяное месторождение Южный Миршоди					
1-Кжм	500	0-20	1,15	2,45	0,85
		20-30	0,76	2,15	0,75
		30-50	0,54	1,93	0,42
2-Кжм	800	0-20	1,2	2,15	0,71
		20-30	0,98	1,98	0,54
		30-50	0,82	1,77	0,38
3-Кжм	1500	0-20	1,63	2,75	0,78
		20-30	1,38	2,48	0,57
		30-50	1,22	2,32	0,41
4-Кжм	3000	0-20	1,55	2,88	0,82
		20-30	1,25	2,59	0,62
		30-50	1,05	2,42	0,45
5-Кжм	5000	0-20	1,76	2,65	0,88
		20-30	1,48	2,35	0,72
		30-50	1,32	2,15	0,43
6-Кжм	8000	0-20	1,68	2,92	0,95
		20-30	1,38	2,65	0,77
		30-50	1,17	2,45	0,45
Кумкурганская нефтебаза					
1-Ккно	200	0-20	1,05	1,98	0,65
		20-30	0,81	1,68	0,51
		30-50	0,65	1,45	0,32
2-Ккно	500	0-20	1,12	2,05	0,69
		20-30	0,94	1,75	0,52
		30-50	0,72	1,6	0,37
3-Ккно	1800	0-20	1,45	2,43	0,84
		20-30	1,15	2,13	0,61
		30-50	0,98	1,98	0,44
4-Ккно	3000	0-20	1,56	2,56	0,82
		20-30	1,32	2,32	0,65
		30-50	1,11	2,11	0,42
5-Ккно	5000	0-20	1,78	2,38	0,91
		20-30	1,52	2,11	0,68
		30-50	1,35	1,94	0,45
6-Ккно	8000	0-20	1,85	2,45	0,95
		20-30	1,55	2,16	0,75
		30-50	1,36	1,98	0,47
фон	30000	0-20	1,95	3,1	0,9
		20-30	1,68	2,83	0,71
		30-50	1,53	2,61	0,52

Отбор проб производился по координатам: вдали от нефтяной шахты Южный Миршоди 37°89419N / 67°5395.8"E; 37°8994.1"N / 67°5337.0"; 37°9091.7"N / 67°5319.8"E; 37°9193.7"N / 67°5294.4"E; 37°9350.0"N / 67°5189.8"E; 37°9623,5"N / 67°4986,8"E; с Кумкурганской нефтебазы 38°08259N / 67°8155.8"E; 38°0768.1"N / 67°8142.0"E; 38°0694.7"N / 67°8165.8"E; 38°0603.7"N / 67°8183.4"E; 38°0477.0"N / 67°8143.8"E; 38°0291,5"N / 67°79018"E [17].

Отбор проб, хранение и лабораторные опыты почв в районе исследований осуществляли по ГОСТ 17.4.3.01–83 [18]. Участки грунта, из которых были отобраны пробы, были сокращенно обозначены следующим образом: Разрез 1 (1-Рюм) – проба грунта взята на расстоянии 0,5 км от нефтяной шахты Южный Миршоди;

Разрез 2 (2-Рюм) – на расстоянии 0,8 км; Разрез 3 (3-Рюм) – на расстоянии 1,5 км; Разрез 4 (4-Рюм) – на расстоянии 3,0 км; Разрез 5 (5-Рюм) – на расстоянии 5,0 км; Разрез 6 (6-Рюм) – на расстоянии 8,0 км; Разрез 1 (1-Ркнб) – на расстоянии 0,2 км от Кумкурганского нефтехранилища; Разрез 2 (2-Ркнб) на расстоянии 0,5 км; Разрез 3 (3-Ркнб) на расстоянии 1,8 км; Разрез 4-й (4-Ркнб) на расстоянии 3,0 км; Разрез 5 (5-Ркнб) на расстоянии 5,0 км; Разрез 6 (6-Ркнб) на расстоянии 8,0 км, и фоновые почвы, отобранные на расстоянии 30 км.

Результаты исследования и их обсуждение.

Активность ферментов в почве определяли по методике, разработанной Ф. Хазиевым и А.Ш. Галстяном [19]. Получен-

ные данные сравнивали с активностью ферментов в фоновых почвах (расстояние 30 км).

Активность фермента каталазы колеблется в пределах 1,15-1,95 мл O₂/г почвы, что подвержено ряду изменений под влиянием нефти и нефтепродуктов, то есть ферменты каталазы снижаются вблизи источника загрязнения, а их активность возрастает на фоне почвы. Считается, что активность фермента инвертазы снижается и изменяется под влиянием нефти и нефтепродуктов, в результате активность фермента инвертазы изменяется в зависимости от источников загрязнения и колеблется в пределах 0,65-0,95 мг глюкозы/г почвы.

Когда грунты разрезов почвы декальцинируются, активность ферментов накладывается на закон уменьшения активности сверху вниз в слоях, в котором верхняя часть почвы характеризуется более высокой активностью ферментов, чем активность ферментов в нижних слоях (таблица).

Активность фермента уреазы зависит от уровня загрязнения: при легком и умеренном загрязнении она увеличивается, при сильном и очень сильном загрязнении снижается. Активность фермента уреазы колеблется в пределах 1,98-3,1 мг NH₃/г почвы (рис. 1).

Вблизи источника загрязнения активность ферментов каталазы, инвертазы и уреазы снижается, активность фермента каталазы составляет 1,05-1,95 мл O₂/г почвы, активность фермента инвертазы – 0,65-0,95 мг глюкозы/г активности почвы и фермента уреазы колеблется в пределах 1,98-3,1 мг NH₃/г почвы (рис. 2).

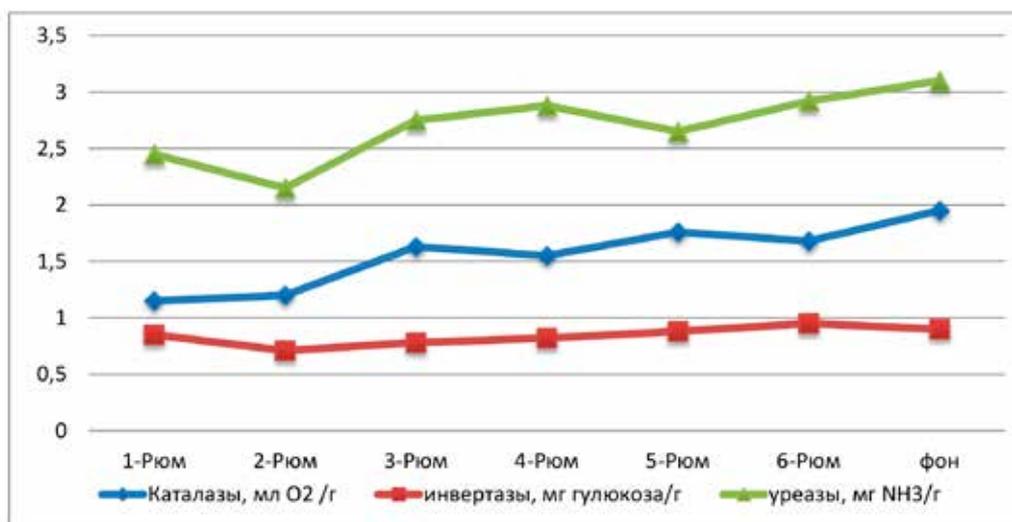


Рис. 1. Изменение активности ферментов при вывозе с нефтяной шахты Южный Миршоди

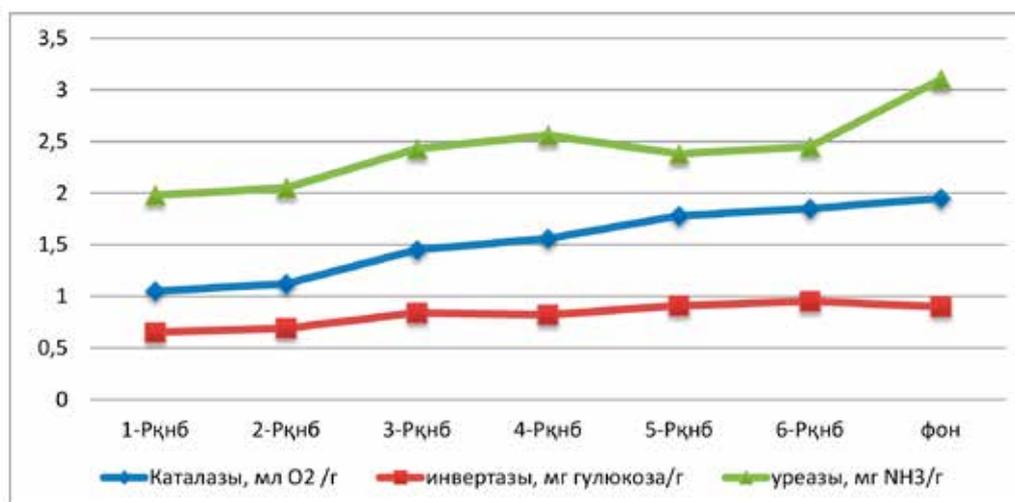


Рис. 2. Изменение активности ферментов в процессе удаления от Кумкурганского нефтехранилища

По полученным результатам установлено, что активность ферментов каталазы, инвертазы и уреазы изменяется в зависимости от источников нефтяного загрязнения, от нефтяной шахты и нефтебазы, где вблизи нефтяной шахты и нефтебазы активность ферментов низкая (склад хранения), а активность ферментов возрастает по мере увеличения расстояния (рис. 1, 2). В результате загрязнения почвы нефтью происходят различные изменения активности ферментов, в том числе активности фермента каталазы: наивысший результат 1,95 мл O₂/г в фоновой почве и наименьший показатель 1,05 мл O₂/г в 1-й почве. Рқнб секция, наибольшая активность фермента инвертазы показатель 0,95 мг глюкозы/г в секции 6-Рюм и 6-Рқнб, наименьший показатель 0,65 мг глюкозы/г в секции 1-Рқнб, наивысший показатель активности фермента уреазы составляет 3,1 мг NH₃/г в фоновых почвах, а наименьшее значение равнялось 1,98 мг NH₃/г в почвах 1-Рқнб, остальные результаты колебались между самыми высокими и самыми низкими показателями.

Заключение

Исходя из активности изучаемых ферментов, источники загрязнения орошаемых лугово-такрырных почв – нефтяная шахта и нефтехранилища – по-разному влияли на активность ферментов, в том числе самые низкие показатели активности ферментов были вблизи источников загрязнения нефтью, а активность ферментов увеличивается по мере удаления от источников загрязнения; видно, что вокруг источников

загрязнения уровень загрязнения выражается в том, что он уменьшается с увеличением расстояния. В зависимости от уровня загрязнения почвы проведение рекультивационных работ будет способствовать улучшению биологических свойств почвы, восстановлению и повышению активности ферментов в случае проведения агротехнических мероприятий с помощью видов растений, штаммов нефтедеградирующих бактерий. Если активность ферментов в почве умеренная, почва экологически чистая, имеет хорошие свойства и высокую продуктивность, то растения хорошо растут и развиваются, повышается жизнедеятельность микроорганизмов в почве.

Список литературы

1. Koshlaf E., Ball A.S. Soil bioremediation approaches for petroleum hydrocarbon polluted environments. AIMS Microbiol. 2017. Vol. 3. №1. P. 25-49. DOI: 10.3934/microbiol.2017.1.25.
2. Ковалева Е.И., Николаенко (Кегиян) М.Г., Макаров А.О., Макаров А.А. Оценка нефтезагрязнения бурых лесных почв острова Сахалин с использованием метода фитотестирования // Сборник материалов V Международной научной конференции, посвященной 85-летию кафедры почвоведения и экологии почв (ТГУ 7–11 сентября 2015 г., г. Томск). Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2015. С. 210-213.
3. Klishevich N.G., Kartyzhova L. The effect of oil pollution on the biological activity of sod-podzol light loam soil. Biological Sciences. The scientific heritage. 2022. Vol. 1. № 85. P. 7-15.
4. Chakravarty P., Chowdhury D., Deka H. Ecological risk assessment of priority PAHs pollutants in crude oil contaminated soil and its impacts on soil biological properties. Journal of Hazardous Materials. 2022. Vol. 437. № 129325. P. 1-11.
5. Сулейманов Р.Р., Абдрахманов Т.А., Джаббаров З.А., Турсунов Л.Т. Ферментативная деятельность и агрохимические свойства лугово-аллювиальной почвы в условиях не-

фтяного загрязнения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2008. Т. 10. № 2. С. 294-298.

6. Джаббаров З.А., Номозов У.М., Зокирова Ф.Н. Экспериментальные схемы рекультивации почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, на засоленных территориях // Научно-инновационный журнал Узбекистана Замини. Ташкент. 2022. № 2. С.107-117.

7. Сазонова И. А., Смирнова Т.С. Исследование изменений биологической активности нефтегрязненной почвы, обработанной биопрепаратом «БИОРОС» // Студенческий форум. 2021. № 20 (156). С. 25-31.

8. Лямзин В.И., Бухарина И.Л., Исупова А.А. Влияние совместного применения углеродоксилирующих микроорганизмов, эндофитных грибов и высших растений на изменение инвертазной активности нефтесодержащих почв // АгроЭкоИнфо. 2020. № 3. URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/3/st_318.pdf.

9. Русева А.С., Минникова Т.В., Колесников С.И. Влияние ремедиации чернозема обыкновенного при нефтезагрязнениях на деятельность каталазы // Устойчивое развитие территорий: теория и практика: материалы II Международной научно-практической конференции (18-21 ноября 2021 г. г. Сибай.), Том-2, Сибай: Сибайский информационный центр – филиал ГУП РБ Издательский дом «Республика Башкортостан». 2021. С. 201-203.

10. Saeed M., Piyas N., Jayachandran K., Gaffar Sh., Arshad M., Ahmad M.Sh., Bibi F., Jeddi K., Hessini K. Biostimulation potential of biochar for remediating the crude oil contaminated soil and plant growth. Saudi Journal of Biological Sciences. 2021. Vol. 28. № 5. P. 2667–2676.

11. Kumar V., Shahi S.K., Singh S. Bioremediation: An Eco-sustainable Approach for Restoration of Contaminated Sites// Microbial Bioprospecting for Sustainable Development. 2018. № 6. P. 115-136.

12. Bulai I.S., Adamu H., Umar Y.A., Sabo A. Biocatalytic remediation of used motor oil-contaminated soil by fruit garbage enzymes. Journal of Environmental Chemical Engineering. 2021. Vol. 9. № 4. P. 1-14. DOI: 10.1016/j.jece.2021.105465.

13. Zhang P., V Matichenkov V., Bocharnikova E.A., Sevostianov S.M. Silicon substances for restoration of oil-contaminated areas// IV International Youth Applied Research Forum “OIL CAPITAL” IOP Publishing. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 931. № 012015. P. 1-5. DOI: 10.1088/1755-1315/931/1/012015.

14. Тарабукин Д.В. Модельная рекультивация ex situ и оценка ферментативной активности лесных подзолистых почв в условиях повышенного нефтяного загрязнения // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2019. Том 5. № 1. С. 29-43. DOI: 10.21684/2411-7927-2019-5-1-29-43.

15. Джаббаров З.А., Абдрахманов Т., Джаббаров Б.Т., Номозов У.М. Подбор растений с фиторемедиационными свойствами для рекультивации техногенно нарушенных почв // Научно-внедренческий журнал Узбекистана «Замини». Ташкент. 2019. № 1. С. 15-16.

16. Краеведческий атлас Сурхандарьинской области: Государственный комитет земельных ресурсов, геодезии, картографии и государственного кадастра Республики Узбекистан. Ташкент, 2016. 55 с.

17. Белоус И.Н., Прудников П.В. Мониторинг радиационной обстановки и плодородия почвы на Новозыбковской опытной станции // Весник Брянской GSXA. 2019. №1. С. 3-8.

18. ГОСТ 17.4.3.01-83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору зонда (устанавливает требования к отбору зонда почвы при общих и локальных загрязнениях. М.: Стандарты информ, 2004. 6 с.

19. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Книга по Требованию, 2005. 112 с.

УДК 57:536.62.088.6

НОВОЕ В РЕГИСТРАЦИИ ОНЛАЙН АКТИВНОСТИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Козеев Е.В.

*ФГБУН Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий
Российской академии наук, Новосибирск;
ООО Научно-производственная фирма «ЭЛАНТА», Краснообск,
e-mail: lanta41@mail.ru*

С использованием специально разработанных сенсорных преобразователей высокого разрешения с чувствительностью более 50 мВ/градус изготовлены для измерения слабых тепловыделений с исследуемых биообъектов измерительные ячейки и аппаратура, способные регистрировать малые приращения температуры – менее 0,001 °С. Разработан алгоритм и новая методика оценки силы взаимодействия биообъектов в процессе их развития с выявлением угнетающего или стимулирующего влияния одного биообъекта на другой. Представлены результаты экспериментальных исследований по выявлению взаимовлияния биообъектов в процессе развития на примере семян пшеницы с плесневым грибом типа *Mucor*. Получено математическое выражение для анализа экспериментальных результатов для оценки силы взаимодействия биообъектов, включая микробно-растительное взаимодействие. Показана принципиальная возможность отслеживать в режиме онлайн влияние плесневого гриба типа *Mucor* на развитие (прорастание) зерновок пшеницы при переходе его из пассивной лаг-фазы в активную лог-фазу. Регистрация тепловыделения с биообъектов в режиме онлайн позволяет определять жизнеспособность семян овощных культур в течение 6–8 ч, зерновых культур за 10–12 ч. Возможность изучения влияния различных факторов и препаратов на процесс прорастания тестового образца позволит более углубленно и на качественно новом уровне изучать особенности микробно-растительного взаимодействия и выявлять эффективные факторы воздействия на вредоносные микроорганизмы.

Ключевые слова: тепловыделение, биообъекты, плесневый гриб, активное состояние, микробно-растительное взаимодействие, мониторинг в режиме онлайн

NEW IN REGISTRATION ONLINE OF BIO-OBJECTS ACTIVITY AND THEIR MUTUAL INTERACTION IN THE DEVELOPMENT PROCESS

Kozeev E.V.

*Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk;
Research and Production Company ELANTA, Krasnoobsk, e-mail: lanta41@mail.ru*

With the use of specially designed high-resolution sensor transducers with a sensitivity of more than 50 mV/degree, measuring cells and equipment capable of registering small temperature increments - less than 0.001°C were made to measure weak heat release from the studied biological objects. An algorithm and a new method for assessing the strength of the interaction of biological objects in the process of their development with the identification of an inhibitory or stimulating effect of one biological object on another has been developed. The results of experimental studies on the identification of the mutual influence of biological objects in the process of development are presented on the example of wheat seeds with a mold fungus of the *Mucor* type. A mathematical expression has been obtained for the analysis of experimental results to assess the strength of the interaction of biological objects, including microbial-plant interaction. It is shown that it is possible in principle to monitor the influence of a mold fungus of the *Mucor* type on the development (germination) of wheat grains in the online mode during its transition from the passive lag phase to the active log phase. Registration of heat release from bioobjects online allows you to determine the viability of vegetable seeds for 6–8 hours, grain crops for 10–12 hours. The possibility of studying the influence of various factors and preparations on the process of germination of a test sample will make it possible to study the features of microbial-plant interaction in more depth and at a qualitatively new level and to identify effective factors influencing harmful microorganisms.

Keywords: heat release, biological objects, to monitor the influence, active state, microbial-plant interaction, online monitoring

Для разработки современных средств и методов лечения и профилактики болезней животных и человека большое значение приобретают исследования активности микроорганизмов, в частности микроскопических плесневых грибов [1]. Споры проникают в организм человека или животного через вдыхаемый воздух, поверхность кожи или проглатываются вместе с пищей и в условиях иммунодефицита могут проявлять агрессивные свойства. Многие виды грибов

выделяют токсичные вещества, способные нанести вред здоровью людей и животных. Споры и фрагменты грибов, встречающиеся повсеместно, могут вызывать круглогодичные аллергические заболевания у человека и животных.

Из множества представителей грибов углубленных исследований заслуживает плесневый гриб типа *Mucor*, вызывающий мукормикозы у животных и человека [2, 3]. Он широко распространен в верхнем слое

почвы, развивается на продуктах питания и органических остатках. В связи с широкой сферой использования его выращивают в лабораториях. Из него делают множество антибиотиков, получают закваску для продуктов брожения соевого сыра, картофельного спирта. Плесневые грибы, являясь членами определенных сообществ, могут вести как мутуалистическое партнерство, так и биотические взаимодействия не только с другими микроорганизмами за нишу обитания, но и со своими «сородичами». Все это направлено у плесневых грибов, как и у других организмов, в первую очередь на сохранение популяции в данном местообитании и в конкретный период времени [4].

Микробно-растительное взаимодействие играет важную роль в предотвращении экологических рисков, все чаще используется в научных исследованиях, направленных на выведение новых сортов растений с рекордными характеристиками, а также в агротехнологиях при производстве зерновых и овощных культур.

Появляются работы, направленные на разработку новых инструментальных методов для оценки функционального состояния микроорганизмов [5]. Нам неизвестны, однако, такие методы для выявления микробно-растительного взаимодействия и для мониторинга активности микроорганизмов типа плесневых грибов *Mucor* в процессе их развития.

Цель настоящего исследования – разработка нового инструментального метода и оборудования для оценки активности биологических объектов и их взаимодействия в процессе развития на основе дифференциального термического анализа (ДТА) путем мониторинга функционального состояния биообъектов на ПК в режиме онлайн на примере плесневого гриба типа *Mucor* и тестового образца в виде семян (зерновок) пшеницы. В задачи работы входило создание оборудования, проведение теоретических и экспериментальных исследований по выбору взаимодействующих биообъектов, разработка алгоритма для выявления микробно-растительного взаимодействия в процессе развития и оценка активности плесневого гриба типа *Mucor*.

Материалы и методы исследования

Рабочие характеристики установки для изучения слабых тепловыделений с биообъектов во многом определяются микрокалориметрической камерой, которая для обеспечения прецизионных измерений должна хорошо защищать исследуемые образцы от влияния внешних тепловых воздействий.

На рис. 1 показана разработанная нами микрокалориметрическая камера с измерительной и сравнительной ячейками (позиция 1). Исследуемые образцы размещаются в измерительной ячейке диаметром 25 мм, высотой 40 мм. На дне измерительной и сравнительной ячеек на нижней стороне сапфировой подложки размером 10*10*0,2 мм закреплены термочувствительные элементы (позиция 1).

Измерительная и сравнительная ячейки размещаются в тщательно теплоизолированном блоке, включающем несколько цилиндрических каркасов, внешних алюминиевых и внутренних медных. Каркасные блоки размещаются в термостате, обеспечивающем поддержание температуры с точностью 0,1 °С. Между алюминиевыми и медными цилиндрами расположена термостатирующая оболочка с нагревателем (позиция 3) и электронным блоком для устойчивого поддержания заданной температуры. Для увлажнения и введения растворов в измерительную ячейку в процессе измерения выведена тонкостенная трубка (позиция 5).

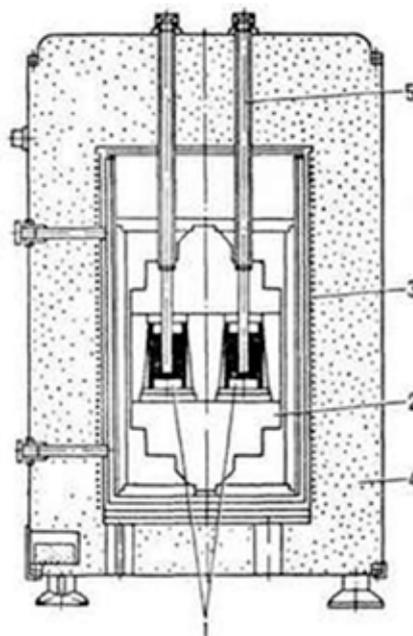


Рис. 1. Микрокалориметрическая камера с измерительной и сравнительной ячейками

Измерительная и сравнительная ячейки идентичны, защищены от внешних влияний теплоизолирующими блоками (позиция 2), активной тепловой изоляцией (позиция 3) и термостатирующими оболочками (позиция 4). Термочувствительные элементы в измерительной и сравнительной ячейках также идентичны и включены в мо-

стовую схему. Входные каскады электронных блоков позволяют измерять сигналы от 1 микровольта с регистрацией их на ПК со значительным превышением полезного сигнала относительно шумов.

Результаты исследования и их обсуждение

В качестве объектов исследования использовали семена амаранта, овощных и зерновых культур. Определялась интенсивность прорастания в различных условиях при различных внешних воздействиях. На рис. 2 представлена термограмма семян пшеницы на начальном этапе прорастания при выходе из состояния покоя. Графики представлены без дополнительной обработки в виде, в котором они зарегистрированы на ПК.

Исследовались образцы семян пшеницы с навеской 1 г, увлажненные одним миллилитром дистиллированной воды при температуре 22 °С. Одно деление по оси X составляет 1000 с, одно деление по оси Y – 100 мкВ или для данного режима – 0,002 °С.

На левом участке термограммы по оси X (около 3 500 с от начала) отображен про-

цесс выравнивания температуры образца с температурой увлажняющего раствора (здесь – дистиллированной воды), а также с изменением температуры в результате впитывания влаги испытуемым образцом. На этом этапе еще не регистрируется тепловыделение, вызванное прорастанием тестового образца.

Тепловыделение с исследуемого образца наблюдается на последующем периоде до 9 000 с, что соответствует активизации процесса прорастания и позволяет сделать положительное заключение о жизнеспособности испытуемых зерен пшеницы уже за несколько часов.

На рис. 3 представлена термограмма с более протяженным временным интервалом прорастания зерновок пшеницы, составляющем более 27 ч (одна клетка на оси X – 5,55 ч).

Представленные экспериментальные результаты на рис. 2 и 3 показывают, что анализ получаемых нами термограмм достаточно прост и не требует специальной математической обработки для выделения полезного сигнала среди шумов и помех, как это вынуждены делать, например, авторы работы [5].



Рис. 2. Термограмма семян пшеницы на этапе выхода из состояния покоя



Рис. 3. Термограмма семян пшеницы в процессе прорастания

Значительного превышения полезного сигнала над шумами мы добивались путем использования термочувствительных элементов высокого разрешения с коэффициентом преобразования 50 мВ/градус, изготовленных из монокристаллических полупроводниковых материалов, а при изготовлении сенсорные преобразователи проходили специальную технологическую обработку. Кроме того, входные каскады электронных блоков согласовывались с чувствительными элементами для обеспечения кратного превышения полезного сигнала над шумами.

Алгоритм определения активности микроорганизмов на основе микробно-растительного взаимодействия

В качестве параметра характеризующего физиологическое состояние исследуемого биообъекта в процессе его развития нами выбрана активность, определяемая из анализа термограмм. Активность биообъекта при создании условий для развития фактически характеризует его жизнеспособность. Определение активности плесневого гриба в процессе его развития основано на мониторинге интенсивности прорастания тестового образца при взаимодействии его с исследуемым образцом. Этот прием оказался

особенно эффективным при изучении активности плесневых грибов по тепловыделению, поскольку очень рыхлая структура и низкая плотность не позволяют в достаточной мере воспринимать генерируемое тепло от исследуемых плесневых грибов термочувствительными элементами.

Предложенный нами алгоритм определения активности микроорганизмов в процессе их развития и взаимодействия с тестовым образцом включает следующие операции:

1. Тестовый образец, например зерна пшеницы, размещают в измерительной ячейке вблизи с термочувствительными элементами.

2. Исследуемый биообъект, например плесневый гриб типа *Mucor*, размещают в измерительной ячейке на тестовом образце или рядом на расстоянии, на котором он может оказывать свое влияние на тестовый образец.

3. Создают условия для развития (роста) как для тестового, так и для исследуемого образца.

4. Проводят мониторинг тепловыделения с тестового образца на различных этапах, начиная с первого, на котором тестовый образец находится в активном состоянии, а исследуемый биообъект на этом этапе не оказывает еще влияния на тестовый образец, находясь в пассивном состоянии.

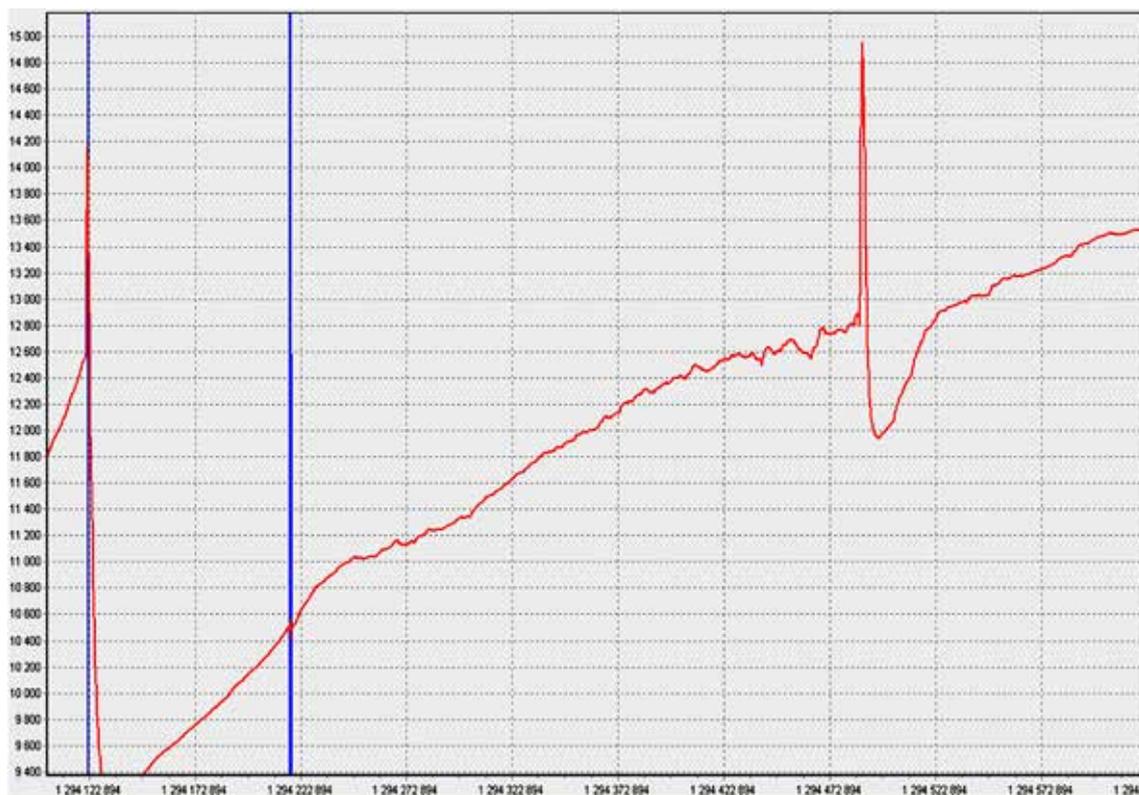


Рис. 4. Термограмма тестового образца с грибом *Mucor*

5. Определяют интенсивность роста тестового образца

$$I_i = \left(\frac{dQ}{dt} \right)_i \text{ (мК/час)}$$

и коэффициент активности для исследуемого образца на выбранных временных интервалах i по формуле

$$G_i = \frac{\left(\frac{dQ}{dt} \right)_i}{\left(\frac{dQ}{dt} \right)_1} - 1$$

и судят о динамике физиологического состояния исследуемого образца.

6. Результаты исследований сводят в таблицу.

На рис. 4 представлена термограмма тестового образца с грибом типа *Mucor*.

Одно деление по оси X составляет 13,8 ч, одно деление по оси Y – 200 мкВ (или для выбранного режима 0,004°C). На представленной термограмме наблюдается уменьшение интенсивности тепловыделения с тестового образца, начиная с 19,1 ч, что объясняется активизацией гриба на этом периоде и, соответственно, началом подавляющего влияния прорастающего гриба на прорастание семян пшеницы.

На первом начальном участке протяженностью от начала прорастания до отметки времени 19,1 ч наблюдается практически постоянный наклон, равный 34,7 мК/час (1 мК равен 0,001°C). Значение интенсивности роста тестового образца на начальном участке соответствует прорастанию тестового образца в выбранных условиях при отсутствии влияния исследуемого плесневого гриба, поскольку он находился на этом интервале еще в пассивной лаг-фазе. Это значение соответствует значению, измеренному при отсутствии второго биообъекта.

На последующих участках 2 и 3 (таблица) интенсивность роста тестового образца I_2 уменьшается, поскольку на этом этапе на него плесневый гриб при своем развитии оказывает все большее угнетающее влияние. На втором этапе развития гриба *Mucor* в промежутке от 19,1 до 68,7 ч интенсивность роста тестового образца I_2 принимает значение 22,3 мК/час.

Далее на участке 3 на промежутке от 68,7 до 93,6 ч интенсивность роста I_3 тестового образца снижается до значения 8,7 мК/час (таблица), что объясняется более сильной активизацией роста гриба *Mucor* на этом этапе и, соответственно, более сильным подавляющим влиянием на тестовый образец – на прорастание семян пшеницы.

Показатели активности плесневого гриба *Mucor* в процессе его развития

Показатель	Интенсивность роста тестового образца I , мК/час Активность гриба <i>Mucor</i> G		
	Участок 1 пассивная фаза	Участок 2 переход в активную фазу	Участок 3 активная фаза
Часы	19,1	68,75	93,6
Интенсивность роста тестового образца на участке i $I_i = \left(\frac{dQ}{dt}\right)_i$	34,7 I_1	22,3 I_2	8,7 I_3
Активность гриба на участке i $G_i = \frac{\left(\frac{dQ}{dt}\right)_i}{\left(\frac{dQ}{dt}\right)_1} - 1$	0 $G_1 = \frac{\left(\frac{dQ}{dt}\right)_1}{\left(\frac{dQ}{dt}\right)_1} - 1 = 0$	-0,36 $G_2 = \frac{\left(\frac{dQ}{dt}\right)_2}{\left(\frac{dQ}{dt}\right)_1} - 1$	-0,75 $G_3 = \frac{\left(\frac{dQ}{dt}\right)_3}{\left(\frac{dQ}{dt}\right)_1} - 1$

Значение активности G_3 исследуемого образца на этом временном участке равно (-) 0,75, что при максимальном значении, равном минус единице, указывает на значительное подавляющее влияние гриба *Mucor* на развитие тестового образца.

В проводимых экспериментах проявление активности микроорганизмов гриба *Mucor* мы выявляли по влиянию исследуемого образца на процесс прорастания тестового образца в результате микробно-растительного взаимодействия, а не по прямому измерению тепловыделения с них, как это делали, например, в работе [5] при изучении однотипных биообъектов – бактериальной популяции *E. Coli*.

На отрезке 112 ч от начала прорастания наблюдается импульс от помехи и небольшое изменение наклона термограммы, что вызвано нарушением теплового баланса в измерительной ячейке, поскольку на этом этапе проводился ее осмотр и фотографирование. Присутствие плесневых грибов на проростках пшеницы на этом этапе подтверждается на рис. 5.

Представленные результаты исследований указывают на принципиальную возможность проводить мониторинг за изменением функционального состояния гриба типа *Mucor* при вступлении его в активную фазу и тем самым определять его присутствие, жизнеспособность и активность в создаваемых условиях.

В таблице приведены результаты исследований активности плесневого гриба *Mucor* в процессе его развития.



Рис. 5. Фотография тестового образца с плесневым грибом на промежуточном этапе прорастания зерновок пшеницы

Мониторинг интенсивности роста микроорганизмов при воздействии на них тем или иным препаратом позволит определять эффективность подавляющего влияния того или иного препарата на изучаемые микроорганизмы и, соответственно, оценивать эффективность этого препарата или иного воздействия на лечение и профилактику той или иной болезни животных путем снижения активности вредоносных микроорганизмов.

Выводы

1. Показана принципиальная возможность оценивать активность плесневого гриба в режиме онлайн по реакции тестового образца в виде зерен пшеницы на основе метода ДТА. Получено математическое выражение для безразмерного коэффициента, характеризующего активность микроорга-

низмов при их взаимодействии с тестовым образцом – семенами пшеницы. Разработан алгоритм и методика оценки активности микроорганизмов в процессе их развития путем регистрации термограмм с тестового образца на ПК в режиме онлайн.

2. Экспрессный метод определения жизнеспособности семян овощных культур за 6–8 ч и зерновых за 10–12 ч будет полезен для оценки качества посевного материала в предпосевной период. Предлагаемый метод и установка позволят значительно ускорить проведение селекционных работ по выведению семян овощных и зерновых культур с заданными характеристиками.

3. Открывается возможность изучения инструментальным методом влияния различных факторов и препаратов на процесс развития микроорганизмов, на более углубленном и на качественно новом уровне исследовать особенности микробно-растительного взаимодействия, выявлять эффективные факторы воздействия на вредоносные микроорганизмы.

Автор выражает глубокую благодарность А.С. Донченко и Н.А. Донченко за интерес к работе и поддержку проводимых исследований, членам Ученого совета ИЭВ-

СиДВ СФНЦА РАН за полезные обсуждения и критические замечания, а также сотрудникам ООО НПФ «ЭЛАНТА» А.Е. Козееву, Я.В. Плотникову, Е.Н. Золотареву за помощь в работе.

Список литературы

1. Варламов Е.Е., Пампура А.Н., Асманов А.И. Значение аллергенов плесневых грибов в развитии аллергических заболеваний полости носа: подходы к диагностике, терапии и профилактике // Педиатрия (прил. к журн. Consilium Medicum). 2018. № 4. С. 67–71.
2. Самсонова М.В., Черняев А.Л., Лебедин Ю.С., Михайличенко К.Ю., Поливанова А.Э. Мукормикоз легких // Пульмонология. 2018. № 28 (2). С. 243–247. DOI: 10.18093/0869-0189, 2018-28-2-243-247.
3. Шейх Ж.В., Тюрин И.Е., Синопальников А.И., Араблинский А.В., Сафонова Т.Д., Федяева Э.В., Муравьев О.Б., Швайко С.Н. Инвазивный мукормикоз с поражением легких у больной с апластической анемией // Вестник рентгенологии и радиологии. 2019. Т. 100. № 4. С. 215–221. DOI: 10.20862/0042-4676-2019-100-4-215-221.
4. Ткаченко Т.Е. Экологические и физиологические аспекты плесневых грибов // Современные проблемы науки и образования. 2009. № 1. URL: <https://science-education.ru/article/view?id=827> (дата обращения: 30.01.2023).
5. Драпеза А.И., Плешко Н.В., Лобан В.А., Скороход Г.А., Гудкова Е.И. Метод дифференциальных термограмм на основе микротерморезисторов для ускоренной оценки жизнеспособности бактериальной популяции *E. Coli* // Вестник БГУ. Сер. 1. Физика. 2015. № 1. С. 31–36.

УДК 574.5

СПЕЦИФИКА СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ БИОМАСС ПЛАНКТОНА В СТРУКТУРЕ МАРГИНАЛЬНОГО ФИЛЬТРА УСТЬЯ РЕКИ СЕВЕРНАЯ ДВИНА

¹Мискевич И.В., ²Новикова Ю.В., ³Трошков В.А., ¹Мосеев Д.С.

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: szoiran@mail.ru;

²Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики

им. академика Н.П. Лавёрова УрО РАН, Архангельск, e-mail: juli-nv@mail.ru;

³Научно-производственная фирма «Субарктика», Архангельск, e-mail: subarct@gmail.com

Рассмотрена сезонная изменчивость биомасс фитопланктона и зоопланктона на устьевом взморье реки Северная Двина в юго-восточной части Двинского залива Белого моря. Учитывались данные гидробиологических наблюдений на 5 станциях весной, летом и осенью в 2020 и 2022 годах. Выявлено, что в зоне коагуляционно-сорбционной ступени маргинального фильтра устья реки Северная Двина при солёности 5-20‰ в вегетационный период наблюдаются минимумы биомассы фитопланктона и зоопланктона. Локальные максимумы биомасс планктона формируются в дельте реки при солёности менее 5‰ и на прилегающей к взморью глубоководной акватории Двинского залива при солёности более 20‰. Предположено, что биологическая трансформация растворённых биогенных веществ получает наибольшую интенсивность в дельте реки на гравитационной ступени, а трансформация нерастворённой органики, потребляемой гидробионтами-фильтрами – на биологической ступени маргинального фильтра. В сезонной изменчивости планктона в зоне коагуляционно-сорбционной ступени наблюдается аномальное совпадение максимального накопления биомасс фитопланктона и зоопланктона. Их медианные концентрации в этот сезон года составляют 0,88-2,31 и 7,7-42,0 мкг/м³. Массовое развитие микроводорослей в указанной зоне весной ограничивается гидрологическими условиями, в первую очередь высокой мутностью устьевых вод. В гравитационной зоне в дельте реки и в биологической зоне за пределами устьевого взморья реки для фитопланктона соблюдается стандартная ситуация с наличием весеннего максимума и осеннего минимума. Сезонная изменчивость биомассы зоопланктона во всех зонах маргинального фильтра не имеет каких-либо аномалий.

Ключевые слова: устье, Северная Двина, фитопланктон, зоопланктон, биомасса, сезоны, солёность, маргинальный фильтр

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме «Современные и древние донные осадки и взвесь Мирового океана – геологическая летопись изменений среды и климата: рассеянное осадочное вещество и донные осадки морей России, Атлантического, Тихого и Северного Ледовитого океанов – литологические, геохимические и микропалеонтологические исследования; изучение загрязнений, палеообстановок и процессов в маргинальных фильтрах рек» № FMWE-2021-0006.

THE SPECIFICITY OF SEASONAL VARIABILITY OF PLANKTON BIOMASS IN THE STRUCTURE OF THE MARGINAL FILTER OF THE SEVERNAYA DVINA RIVER MOUTH

¹Miskevich I.V., ²Novikova Yu.V., ³Troshkov V.A., ¹Moseev D.S.

¹Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, e-mail: szoiran@mail.ru;

²Federal Research Center for Comprehensive Study of the Arctic named after Academician N.P. Laverov Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, e-mail: juli-nv@mail.ru;

³Research and production firm «Subarctica», Arkhangelsk, e-mail: subarct@gmail.com

The seasonal variability of phytoplankton and zooplankton biomasses on the estuarine coast of the Northern Dvina River in the southeastern part of the Dvina Bay of the White Sea is considered. The data of hydrobiological observations at 5 stations in spring, summer and autumn in 2020 and 2022 were taken into account. It was revealed that in the zone of the coagulation-sorption stage of the marginal filter of the mouth of the Northern Dvina River at a salinity of 5-20 ‰, minima of phytoplankton and zooplankton biomass are observed during the growing season. Local maxima of plankton biomass are formed in the river delta at a salinity of less than 5 ‰, and in the deep water area of the Dvina Bay adjacent to the seashore at a salinity of more than 20 ‰. It is assumed that the biological transformation of dissolved biogenic substances is most intense in the river delta at the gravitational stage, and the transformation of undissolved organic matter consumed by filtrate hydrobionts is at the biological stage of the marginal filter. In the seasonal variability of plankton in the zone of the coagulation-sorption stage, an anomalous coincidence of the maximum accumulation of phytoplankton and zooplankton biomasses is observed. Their median concentrations in this season of the year are 0,88-2,31 µg/m³ and 7,7-42,0 µg/m³. The mass development of microalgae in this zone in the spring is limited by hydrological conditions, primarily by the high turbidity of the estuarine waters. In the gravitational zone in the river delta and in the biological zone outside the estuarine seashore of the river, phytoplankton observes the standard situation with the presence of a spring maximum and an autumn minimum. The seasonal variability of zooplankton biomass in all zones of the marginal filter does not show any anomalies.

Keywords: mouth, Northern Dvina, phytoplankton, zooplankton, biomass, seasons, salinity, marginal filter

В условиях наблюдаемого потепления климата на севере Европы должны происходить значительные изменения в процессах обмена веществом между сушей и морем. Такой обмен можно рассматривать в рамках реализации модели маргинального фильтра в устьях рек, разработанной академиком А.П. Лисицыным. Применительно к устьевой области р. Северной Двины указанная модель будет иметь гравитационную ступень в диапазоне солености менее 5‰, коагуляционно-сорбционную ступень при солености 5–20‰ и биологическую ступень при солености более 20‰ [1]. На первой ступени обычно наблюдается максимальная мутность зоны смешения речных и морских вод, на второй ступени наибольшую активность получают гидрохимические процессы, и для третьей зоны характерны наибольшие биомассы планктона, зообентоса и ихтиофауны.

Целью выполненных исследований было определение характера сезонной изменчивости биомасс микроводорослей и зоопланктона на устьевом взморье р. Северной Двины в разных зонах маргинального фильтра в современных условиях.

Материалы и методы исследования

Отбор проб воды производился весной (июнь), летом (август) и осенью (октябрь) в 2020 и 2022 годах на 5 станциях, расположение которых указано на рис. 1. Наблюдениями охватывался восточный сектор устьевого взморья р. Северной Двины в юго-восточной части Двинского залива Белого моря. Здесь располагается фронтальная зона смешения морских и речных вод, а глубины на станциях колеблются в диапазоне 8–12 метров.

Гидробиологические исследования выполнялись в соответствии с методическим пособием [2]. Пробы воды с поверхностного и придонного горизонтов для определения параметров фитопланктона отбирались батометром *Hydro-Bios* объемом 5 литров. Далее из них формировалась единая интегральная проба воды объемом 1 литр. В лабораторных условиях с помощью вакуумной установки фитопланктон осаждали на мембранные фильтры «Владисарт» (диаметр пор 0,65 мкм), покрытые $MgCO_3$ и диаметром 47 мм. Экстрагирование осадка, спектрофотометрирование экстракта, расчет концентрации хлорофилла «а» проводили согласно ГОСТ 17.1.4.02-90. Общая биомасса фитопланктона вычислялась по найденной концентрации хлорофилла «а».

Отбор проб зоопланктона производился сетью Джеди диаметром 36 см, при этом об-

лавливался горизонт *дно* – 0 м. Затем пробы фиксировали 40% раствором формальдегида. Обработка велась в лабораторных условиях счетным методом в камере Богорова. Биомасса определялась по расчетным весам организмов и путем взвешивания гидробионтов на весах Kern 770.

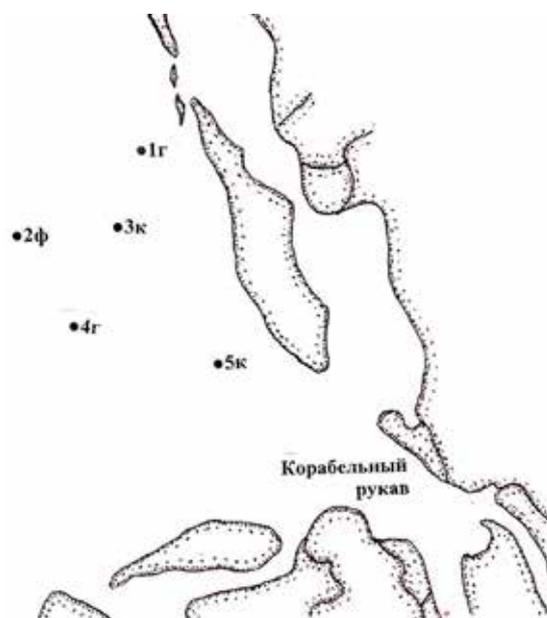


Рис. 1. Карта-схема расположения станций гидробиологических наблюдений в юго-восточной части Двинского залива Белого моря

В состав сопутствующих наблюдений входило определение температуры и солености воды на поверхностном и придонном горизонтах. Для этой цели использовался многопараметрический анализатор жидкости *Multi 3420* фирмы *WTW*.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты статистической обработки данных по биомассе планктона в каждый сезон на 5 мониторинговых станциях представлен в таблице. В ней вместо среднего значения использована медиана, как наиболее помехоустойчивая и наиболее показательная оценка центра распределения данных при использовании коротких выборок наблюдений [3]. Из таблицы видно, что в различные годы биомассы планктона на устьевом взморье р. Северной Двины могут существенно меняться. Можно предвзительно предположить, что наименьшие междугодовые отклонения наблюдаются осенью в конце вегетационного периода, а наибольшие характерны для летнего периода.

Статистическая характеристика сезонной изменчивости биомассы планктона на устьевом взморье р. Северной Двины в юго-восточной части Двинского залива Белого моря в 2020 и 2022 годах.

Сезон	Фитопланктон (мкг/м ³)		Зоопланктон (мг/м ³)	
	C _м	C _{мин.} /C _{макс.}	C _м	C _{мин.} /C _{макс.}
2020 год				
Весна	1,13	0,79/1,81	1,1	0/29,2
Лето	2,31	1,06/3,21	7,7	3,0/25,6
Осень	0,44	0,25/0,68	1,1	0/29,2
2022 год				
Весна	0,55	0,31/1,89	11,5	4,2/16,0
Лето	0,88	0,52/1,37	42,0	32,0/66,0
Осень	0,45	0,37/1,10	3,6	1,4/5,9

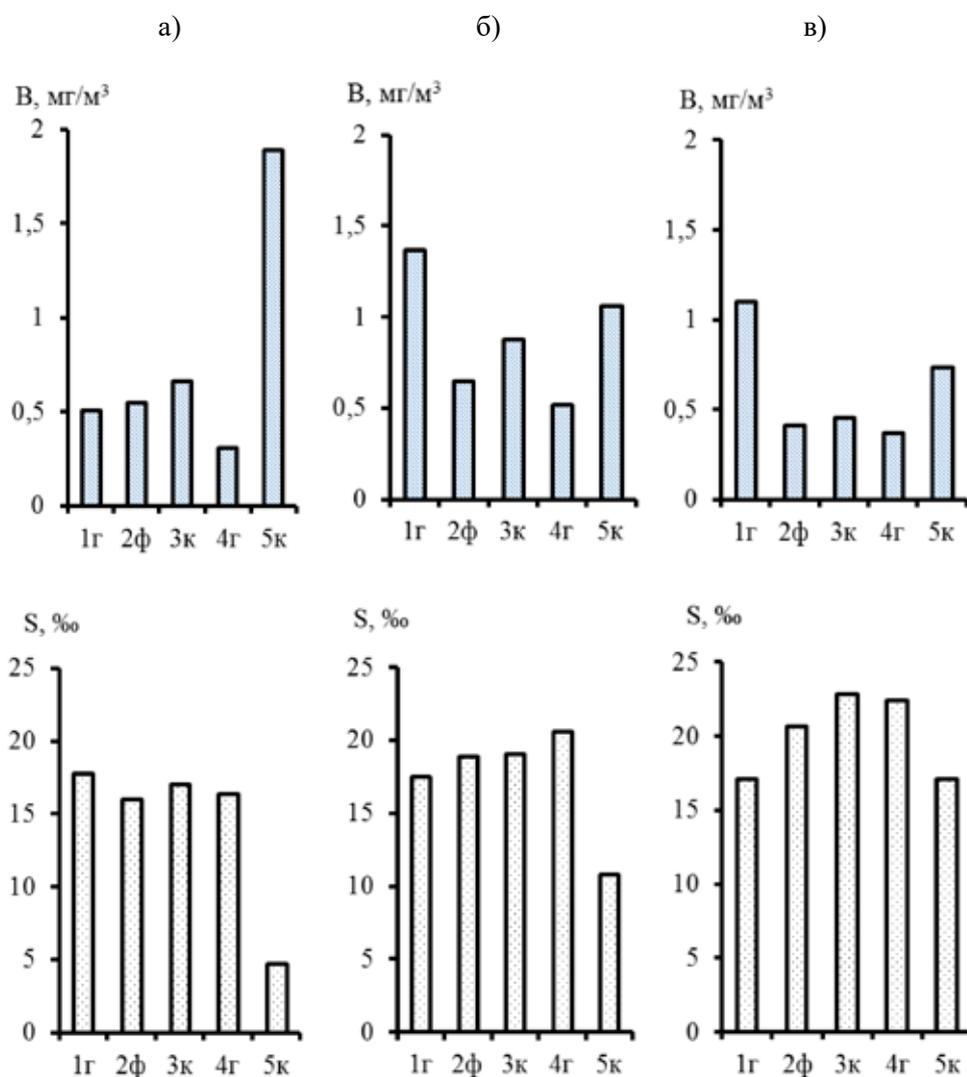


Рис. 2. Изменчивость биомассы планктона (B) и солёности (S) устьевых вод на различных станциях на устьевом взморье р. Северной Двины в июне (а), августе (б) и октябре (в) 2022 года

При этом для изменчивости биомассы микроводорослей отмечается нарушение сезонной закономерности, типичной для речных (озерных) и чисто морских вод, когда её максимум фиксируется в весенний период. На устьевом взморье р. Северной Двины такой максимум для биомассы фитопланктона, как и для зоопланктона, наблюдался летом.

Представленные в таблице биомассы планктона в основном наблюдались в водах с диапазоном солёности 5-20‰, т.е. в зоне коагуляционно-сорбционной ступени маргинального фильтра. Исключение составили воды на станции **5к** весной (солёность 4,7‰) и на станциях **3к** и **4г** (солёность 22,4-22,8‰) осенью 2022 года. На рис. 2 видно, что на станции **5к**, где солёность соответствовала гравитационной ступени, весной наблюдалась максимальная биомасса микроводорослей. При этом лишь для данной станции соблюдалась классическая изменчивость биомассы фитопланктона с наличием максимума весной и минимума осенью. Диапазон солёности, соответствующий биологической ступени (более 20‰), в районе мониторинговых исследований был охвачен лишь осенью. Но это был конец вегетационного периода, когда биомасса фитопланктона зависит от специфики функционирования пищевой цепочки «фитопланктон – зоопланктон – рыба» в весенний и летний сезоны и не имеет какой-либо значимой корреляции с распределением солёности.

В работе [4] на основании исследований связи биомассы зоопланктона с распределением солёности на устьевом взморье р. Северной Двины было показано, что её минимум соответствует коагуляционно-сорбционной ступени. Возрастание биомассы зоопланктона наблюдалось на гравитационной ступени и биологической ступени. При этом указывалось, что её максимум наиболее характерен для биологической ступени, где, в частности, она может достигать уровня 1000-2000 мг/м³ и даже более.

Анализ данных по распределению фитопланктона в различные сезоны 2020 и 2022 годов позволяет предположить, что минимум его биомассы на устьевом взморье р. Северной Двины, как и для зоопланктона, наблюдается на коагуляционно-сорбционной ступени маргинального фильтра. Это обусловлено присутствием в рассматриваемой зоне неблагоприятных условий для его развития, которые формируются при наличии сильных приливных течений и короткопериодной изменчивости термохалинных характеристик во фронтальной зоне сме-

шения морских и речных вод. В условиях мелководья устьевого взморья реки оседающие здесь взвеси, которые выносятся весной с речным стоком, четыре раза в сутки на пике скоростей течений (0,3-0,5 м/с) в фазы отлива и прилива вновь поступают в водную толщу, повышая мутность водной среды. Она, в свою очередь, снижает приток света в устьевые воды, уменьшая его доступ микроводорослям. Кроме этого, взвешенные частицы песка в сочетании с высокими скоростями течений могут оказывать деформирующее воздействие на некоторые виды планктона. В рассматриваемой зоне также наибольшее развитие получают геохимические процессы, в том числе связанные с загрязнением водной среды [5], что может препятствовать массовому развитию в её водах планктона.

В летнюю межень за счет постепенного транзита мелкодисперсных наносов с мелководной акватории устьевого взморья р. Северной Двины на более глубоководные участки Двинского залива процессы взмучивания донных отложений перестают вызывать сильное замутнение устьевых вод в диапазоне солёности 5-20‰. Одновременно за счет сильного прогрева речных и устьевых вод наблюдается усиление минерализации органического вещества, повышающей содержание солей азота и фосфора. Таким образом, можно предположить, что фитопланктон устьевого взморья реки летом получает лучшие условия для массового развития, чем весной. Это влечет за собой локальную аномалию в сезонной динамике биомассы фитопланктона, которая накладывается на сопутствующее возрастание биомассы зоопланктона.

В дельте р. Северной Двины за счет разнообразия геоморфологических условий даже на пике весеннего половодья имеются участки со слабыми течениями и сравнительно прозрачной водой, где могут происходить вспышки развития микроводорослей. К ним, в частности, относятся многочисленные микрозаливы и мелководные зоны между дельтовыми рукавами с наличием массовых зарослей галофитов. Но наилучшие условия для формирования высоких биомасс планктон получает за пределами устьевого взморья реки, где глубины повышаются до 20-30 и более метров и сильно ослабевают скорости приливных течений и литодинамические процессы. Здесь содержание взвесей на 1-2 порядка ниже, чем на устьевом взморье реки.

Аналогичная ситуация прослеживается и для донных беспозвоночных. По данным мониторинговых наблюдений НПФ «Су-

барктика», в восточном секторе устьевом взморья р. Северной Двины средняя биомасса зообентоса в 2020 и 2022 годах составила 2,70 и 2,91 г/м². При этом в восточной части дельты реки, по данным СевПИНРО [6], в период с 2012 по 2018 г. она в среднем равнялась 5,25 г/м². За пределами устьевом маргинального фильтра на юго-востоке Двинского залива биомасса донных беспозвоночных возрастает на порядок [7].

Локализация минимальных биомасс планктона на устьевом взморье р. Северной Двины дает возможность рассматривать его как оптимальный в экологическом отношении район для дампинга грунта. Существующие здесь много лет отвалы грунта, вынимаемого на судоходных каналах в портах Архангельска и Северодвинска, создают более низкий рыбохозяйственный ущерб по сравнению с его возможным объемом, который бы наблюдался при дампинге грунта в зоне биологической ступени маргинального фильтра.

Выводы

Полученные результаты позволяют предположить, что минимум биомассы планктона в вегетационный период наблюдается в зоне коагуляционно-сорбционной ступени маргинального фильтра р. Северной Двины при солёности 5-20‰. Её локальные максимумы в вегетационный период формируются в дельте реки при солёности менее 5‰ и на прилегающей к взморью глубоководной акватории Двинского залива при солёности более 20‰. Наиболее вероятно, что био-

логическая трансформация растворенных биогенных веществ получает наибольшую интенсивность в дельте реки на гравитационной ступени, а трансформация нерастворенной органики, потребляемой гидробионтами-фильтратами – на биологической ступени маргинального фильтра. В условиях наблюдаемого потепления климата наиболее значительные изменения в его структуре, скорее всего, будут наблюдаться в зоне гравитационной ступени в дельте р. Северной Двины.

Список литературы

1. Гордеев В.В., Филиппов А.С., Кравчишина М.Д., Новигатский А.Н., Покровский О.С., Шевченко В.П., Дара О.М. Особенности геохимии речного стока в Белое море // Система Белого моря. Т. II. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера. М.: Научный мир, 2012. С. 225-308.
2. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Ред. В.А. Абакумов. СПб: Гидрометеоздат, 1992. 318 с.
3. Микулинская С.М., Рожков В.А. Обработка малых выборок // Режимобразующие факторы, информационная база и методы ее анализа. Л.: Гидрометеоздат, 1989. С. 167-176.
4. Мискевич И.В., Мосеев Д.С., Трошков В.А. Некоторые особенности распределения зоопланктона в маргинальном фильтре устья реки Северная Двина // Естественные и технические науки. 2022. № 4(167). С. 121-124.
5. Котова Е.И., Коробов В.Б., Шевченко В.П., Иглин С.М. Экологическая ситуация в устьевой области реки Северной Двины // Успехи современного естествознания. 2020. № 5. С. 121–129.
6. Студенова М.А., Студенов И.И., Чупов Д.В., Самодов А.С. Зообентос дельты реки Северная Двина // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 2. С. 34-39.
7. Артемьев С.Н., Новоселов А.П., Левицкий А.Л. Таксономическое и видовое разнообразие макрозообентоса в Двинском заливе Белого моря // Arctic Environmental Research. 2017. Vol. 17. № 4. P. 302-320.

УДК 631.48:631.452

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ПЛОДОРОДИЯ И ПРОДУКТИВНОСТИ ПОЧВ

Турдалиев А.Т., Эшпулатов Ш.Я.

*Ферганский государственный университет, Фергана,
e-mail: avazbek1002@mail.ru, Shya1973@mail.ru*

В статье описаны характеристики почв, их засоление, основы научного изменения водных и почвенных компонентов при его рациональном использовании, научные исследования по агрохимическим и другим свойствам, агроэкологическое и агромелиоративное состояние, а так же применение агротехнологические мероприятия на лугово-такырных почвах Центральной Ферганы. Рассмотрены способы выращивания пшеницы на орошаемых лугово-такырных почвах и получения более высокого и качественного урожая. На орошаемых лугово-такырных почвах урожайность пшеницы выше 60,7-64,0 ц/га за счет применения агроэкологические мероприятия вместе всех агротехнических приемов. Использование агроэкологические мероприятия позволило получить высокую урожайность, а также повышение устойчивости хлопчатника, зерновых и других сельскохозяйственных культур к вредителям в период листового питания. Приведены результаты исследований роста и развития пшеницы, разработка агроэкологических мероприятий по поддержанию и приумножению плодородия и продуктивности почв. При внесении орошаемых лугово-такырных почвах 150 кг азота, 125 кг фосфора, 50 кг калия вместе с 10 т/га навоза крупного рогатого скота или 3 т/га птичьего помета можно получить более высокой урожайности 60-64 т/га от пшеницы сорта Андижан-1.

Ключевые слова: агроэкологические мероприятия, лугово-такырные почвы, пшеница, урожайность, минеральные удобрения, плодородия почв

AGROECOLOGICAL MEASURES FOR INCREASING SOIL FERTILITY AND PRODUCTIVITY

Turdaliyev A.T., Eshpulatov Sh.Ya.

Fergana State University, Fergana, e-mail: avazbek1002@mail.ru, Shya1973@mail.ru

The article describes the characteristics of soils, their salinization, the basics of scientific change in water and soil components during its rational use, scientific research on agrochemical and other properties, agroecological and agro-reclamation status, as well as the application of agrotechnological measures on meadow-takyr soils of Central Fergana. Methods for growing wheat on irrigated meadow-takyr soils and obtaining a higher and higher quality crop are considered. On irrigated meadow-takyr soils, the wheat yield is higher than 60.7-64.0 q/ha due to the use of agroecological measures together with all agrotechnical practices. The use of agro-ecological measures made it possible to obtain high yields, as well as increase the resistance of cotton, cereals and other crops to pests during the foliar feeding period. The results of studies of the growth and development of wheat, the development of agroecological measures to maintain and increase the fertility and productivity of soils are presented. With the introduction of irrigated meadow-takyr soils of 150 kg of nitrogen, 125 kg of phosphorus, 50 kg of potassium, together with 10 t/ha of cattle manure or 3 t/ha of bird droppings, you can get a higher yield of 60-64 t/ha from wheat grade Andijan-1.

Keywords: agroecological measures, meadow-takyr soils, wheat, productivity, mineral fertilizers, soil fertility

В последние годы уровень плодородия орошаемых земель в сельском хозяйстве значительно снизился. Большое влияние на плодородие почв оказывает ветровая и водная эрозия. На сегодняшний день более 2 млн. га земель дефлированы, а 0,7 млн га сильно дефлированы. В результате эрозии с одного гектара теряется 0,5-0,8 т. гумуса, 100-200 кг азота и 75-100 кг фосфора.

При этом особое внимание уделяется исследованиям, направленным на решение комплексных агроэкологических задач повышения урожайности сельскохозяйственных культур на орошаемых гидроморфных почвах в результате возрастающей из года в год водной, ветровой эрозии, засоления, загрязнения тяжелыми металлами, токсичными веществами и другими процессами. Для решения этих задач важно определить агроэкологическое, мелиоративное состояние и почвенные свойства орошаемых

земель Центральной Ферганы, проанализировать факторы, влияющие на снижение продуктивности почв [1].

По происхождению луговые почвы Узбекистана подразделяются на луговые почвы сероземной зоны и луговые почвы пустынной зоны. Луговые сазовые, лугово-такырные почвы образовались под влиянием минерализованных грунтовых вод в условиях пустынной зоны и имеют разную степень засоления. Их материнская порода состоит из аллювиально-пролювиальных отложений.

Почвенно-климатические условия Центральной Ферганы уникальны, так как формируются преимущественно гидроморфные почвы. Морфологические характеристики, агрономические, агромелиоративные, геоэнергетические, качественные оценки и эффективное использование и другие свойства гидроморфных почв региона изучались мно-

гими исследователями: М.А. Газиев [2], В.Ю. Исаков [3, 4], К.А. Давронов [5], З.А. Жаббаров [6], У.Б. Мирзаев [7], О.К. Камиллов [8], А.Т. Турдалиев [9], Ш.Я. Эшпулатов [10], М.М. Хайдаров [11] и другими.

Цель исследования – определение способа выращивания для получения более высокого и качественного урожая пшеницы на орошаемых лугово-такырных почвах Центральной Ферганы.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования выбраны орошаемые лугово-такырные среднесуглинистые почвы, распространенные на территории Язъяванского района на Ферганской области. Для посева выбран сорт пшеницы «Андижан-1».

Опыты проводились с тремя повторностями и 4-мя вариантами в одном ярусе. Опыты проведены согласно методическим указаниям «Методы агрофизических исследований» [12], «Методы агрохимических исследований почв и растений» [13]. Математическая статистическая обработка проведена на ЭВМ согласно методики Каримова, Юлдашева [14], рисунки и некоторые математические разработки по программам macromedia Flash и Microsoft Excel.

Фенологические наблюдения проведены согласно методике. Во всех вариантах, в соответствии с программой, брались образцы пахотного и подпахотного горизонтов далее по генетическим горизонтам до уровня грунтовых вод.

Результаты исследования и их обсуждение

По данным Сырдарьинско-Сохского бассейнового управления ирригационных систем Ферганской области (отчет за 2018 г.) 27,2% орошаемых земель засолены в разной степени. В Центральной Фергане распространены гипсовые почвы. К 2018 г. площадь средне- и сильнозасоленных почв резко сократилась, то есть средnezасоленные почвы уменьшились на 2,3%, а площадь сильнозасоленных почв уменьшилась на 0,15%.

В связи со специфическими почвенно-климатическими условиями Центральной Ферганы эти почвы являются гипсированными и карбонатными, а также типом хлоридно-сульфатного засоления. Их сухой остаток после промывок относительно высок, сухой остаток в изучаемых луговых сазовых и лугово-такырных почвах колеблется около 0,505-0,926% как и ожидалось, а наивысший показатель соответствует гипсу.

Сульфат магния стоит на втором месте после гипса и положительная корреляция

между ними составляет 0,9% в процессе промывания, а также наблюдается вымывание хлористых солей до пределов нормы.

Согласно полученным данным, содержание Na^+ и Mg^{+2} в генетических горизонтах староорошаемых и новоорошаемых лугово-такырных, луговых сазовых почв колеблется в пределах 0,42-2,57%. Их содержание в пахотных горизонтах составляет 0,71-0,92%. Практически одинаково расположены количества натрия и магния в генетических горизонтах староорошаемых почв, но в общем порядке количество Mg^{+2} больше, чем Na^+ .

Орошаемые луговые сазовые, лугово-такырные почвы формируются под влиянием минерализованных грунтовых вод в пустынной зоне, поэтому они засолены в разной степени и их материнская порода состоит из аллювиально-пролювиальных отложений, и как результат они относятся к легко- и средне-суглинистым, а иногда к тяжело-суглинистым почвам.

По почвенным картам института «Узгипрозем» 1972 и 1984 гг. почвы, распределенные в зоне разреза 20^A , относятся к новоосвоенным, а почвы, распределенные в зоне разрезов 24^A и 35^A – к новоорошаемым. На основании полевых исследований изменения морфологических характеристик почв и правил принятых в почвоведении можно отметить, что изменился уровень их окультуренности, то есть к настоящему времени почвы разреза 20^A превратились в новоорошаемые луговые сазовые почвы. Новоорошаемые почвы разреза 24^A и 35^A переведены в категорию староорошаемых луговых сазовых и лугово-такыровых почв.

В результате антропогенного воздействия произошел ряд изменений в морфологических характеристиках почв разного уровня орошения. К настоящему времени установлено, что новоосвоенные почвы переведены в категории → новоорошаемых почв, новоорошаемые луговые сазовые, лугово-такырные почвы → староорошаемые луговые сазовые, лугово-такырные почвы. Староорошаемые лугово-такырные почвы трансформированы в → староорошаемых луговые сазовые почвы.

Количество гумуса в пахотных горизонтах участков староорошаемых почв составляет около 1,140–1,405%, в то время как в пахотных горизонтах участков новоорошаемых почв оно колеблется в пределах 0,820–0,960%. Видно, что содержание гумуса в староорошаемых почвах выше, чем в новоосвоенных и новоорошаемых почвах. Соотношение C:N в горизонтах почвы находится в пределах 5,7-6,7.

Гумус коррелирует с валовым содержанием азота и закон изменения содержания азота в исследованных орошаемых луговых почвах распространяется почти параллельно с содержанием гумуса. Уровни валового фосфора колеблются в пределах 0,210–0,345% во всех изученных почвенных разрезах, в то время как валовое содержание калия колеблется в пределах 1,61–1,94%. Исследуемые почвы по количеству подвижных элементов питания относятся к группе менее обеспеченной этими элементами [1].

Средняя бонитировочная оценка почв Центральной Ферганы составляет около 39-42 балла, что соответствует «худшему» (31-40 баллов) и «ниже среднего» уровню (41-50 баллов) по урожайности. Количество гумуса в почвах региона, подверженных воздействию природных и антропогенных факторов, невелико, что отмечается рядом исследователей.

В почвах Центральной Ферганы корневая система естественных и культурных растений чаще располагается в верхних слоях почвы, поэтому гумусовый слой в этих почвах невелик, а запас его меньше по сравнению с другими почвами [15].

На орошаемых луговых сазовых, лугово-такырных почвах с низкой продуктивностью необходимо применять ряд агротехнических мероприятий для сохранения и повышения плодородия почв. В связи с этим применение органических удобрений, наряду с минеральными при выращивании пшеницы на этих почвах, имеет большое значение в повышении агрофизических, физических свойств и продуктивности орошаемые земли.

Также, количество вредных веществ, остающихся в почве, значительно снижается при внесении определенной части минеральных удобрений в качестве внекорневой подкормки пшеницы. Кроме того, при хроническом применении только минеральных

удобрений остатки этих удобрений, не усвоенные растениями, из года в год накапливаются в почвенном покрове в виде солей и в результате чего повышается уровень засоления почв, а как следствие производительность снижается.

С целью сохранения плодородия почвы и повышения урожайности в землю из расчета нормы вносят аммиачную селитру (N-34%), суперфосфат (P₂O₅-14%), хлоркалий (K₂O – 56%). Азотные удобрения вносят 3 раза по 50 кг/га, а органические удобрения, такие как: навоз и птичий помет, вносят под плуг. На гектар высевается 250 кг/га (50 млн. шт.) семенного зерна с целью увеличения роста и урожайности пшеницы. Агротехнические мероприятия проводятся на основании норм, принятых в хозяйстве, а полив осуществляется из расчета 800 м³/га. На основе принятых в хозяйстве норм разработаны агротехнологические мероприятия для получения высоких урожаев в орошаемых лугово-такырных почвах.

Наблюдения за ростом пшеницы проводились ежегодно от фазы трубкования до конца вегетационного периода (рис. 1).

Из данных таблицы 1 и рисунка 2 видно, что на орошаемых лугово-такырных почвах высокая эффективность имеют варианты фон+3 т/га птичьего помета и фон+10 т/га органических удобрений.

Урожайность пшеницы, в свою очередь, зависит от ее высоты, длины колоса, количества зерна в нем и так далее. Эти условия, в свою очередь, зависят от плодородия почвы и питания рассады, орошения, содержания питательных веществ.

Птичий помет следует вносить преимущественно под однолетние культуры, особенно под пшеницу, как основное удобрение. Внесение данного навоза под плуг и дисковое боронование ранней весной также дает хорошие результаты.

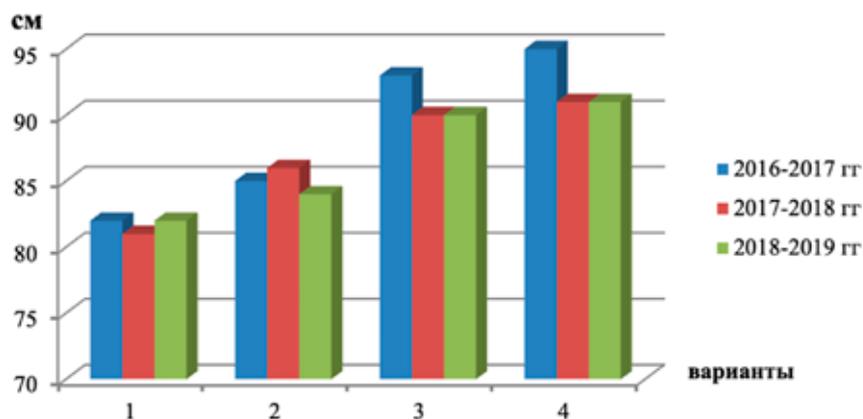


Рис. 1. Диаграмма роста стеблей пшеницы

Таблица 1

Урожайность пшеницы, ц/га

Варианты	2016-2017 гг.		Индекс урожая	2017-2018 г.		Индекс урожая	2018-2019 гг.		Индекс урожая
	Зерна	Колос		Зерна	Колос		Зерна	Колос	
1	27	32,7	1,21	28,3	33,1	1,17	28,1	34,1	1,21
2	58,5	90,6	1,55	60,1	88,6	1,50	60,3	90,3	1,50
3	61,3	80,3	1,31	59,9	81,4	1,36	60,9	90,4	1,48
4	63,4	79,3	1,25	64,3	80,6	1,25	64,4	91,4	1,42

Таблица 2

Средняя урожайность (в среднем за 3 года) ц/га

Вариант	Зерно	Солома	Дополнительно, ц/га		Дополнительно, %	
			Зерно	Солома	Зерно	Солома
1	27,8	33,3	-	-	-	-
2	59,6	89,8	+31,8	+56,5	114,4	120
3	60,7	84,0	+32,9	+50,7	118,3	152,2
4	64,0	83,8	+36,2	+50,5	130,2	151,6

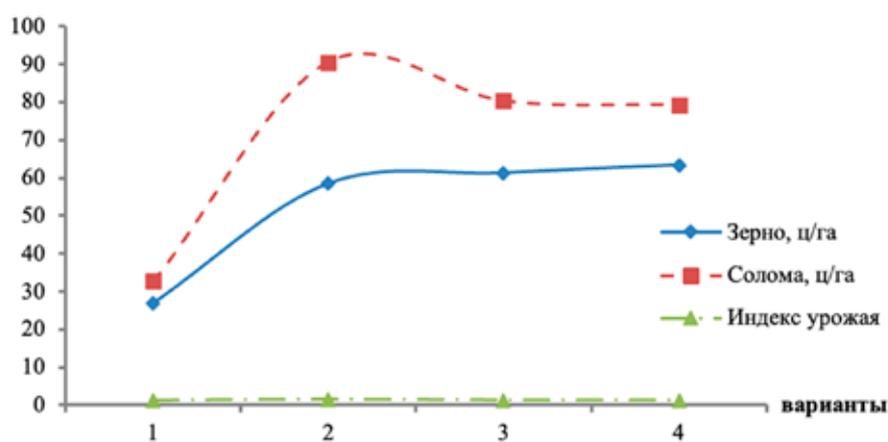


Рис. 2. Урожайность пшеницы на 2016-2017 г.

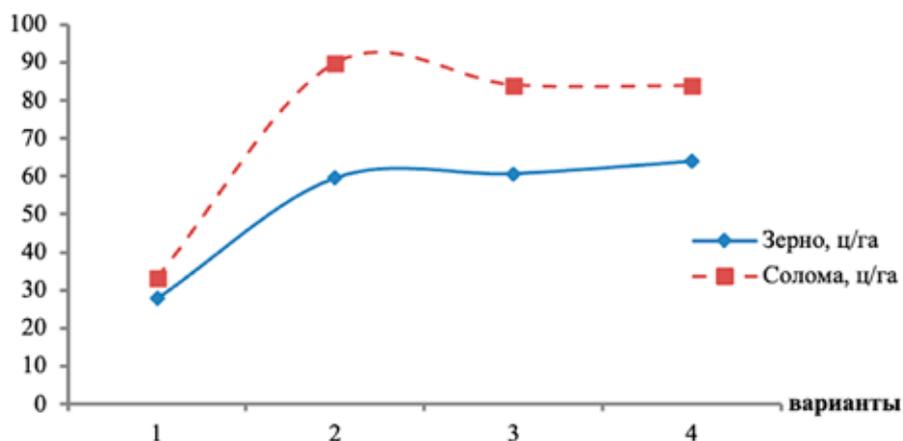


Рис. 3. Средняя производительность за 3 года

При внесении 150 кг азота, 125 кг фосфора и 50 кг калия на гектар средняя урожайность пшеницы сорта Андижан-1 составляет 64 т/га. При внесении из навоза крупного рогатого скота по 10 т азота, фосфора и калия на 1 га можно получить урожай зерна 60,7 т/га (табл. 2).

Результаты исследования показывают, что максимальная урожайность зерна составляет 64,0% ц/га в 4 варианте, то есть при внесении птичьего помета. Урожайность на этом варианте выше контроля на 36,2 ц/га. Количество соломы составляет 83,8 ц/га.

В третьем варианте, то есть при внесении 10 т/га органических удобрений на гектар, урожайность составляет 60,7 ц/га по зерну и 84,0 ц/га по соломе. При этом урожайность по сравнению с контролем составляет 39,9 ц/га (зерно), 50,7 ц/га (солома).

При внесении только минеральных удобрений урожайность составила 59,6 ц/га (зерно) и 89,8 ц/га (солома). Однако урожайность зерна составила меньше 2,8 ц/га по сравнению с вариантом удобрения навозом крупного рогатого скота 10 т/га и 4,9 ц/га по сравнению с вариантом удобрения птичьим пометом.

Для поддержания плодородия почв и повышения продуктивности вышеперечисленные агроэкологические мероприятия применяются на орошаемых лугово-такрыных почвах при внесении азота 150 кг, фосфора 125 кг, калия 50 кг на 1 га, наряду с 10 т/га навоза (навоз крупного рогатого скота) или 3 т/га птичьего помета и можно получить пшеницы сорта Андижан-1 с высокой урожайностью в 60-64 т/га. В результате постоянного проведения этих агротехнических мероприятий агроэкологическое состояние земель из года в год улучшается.

Плодородие считается реальным показателем качества почвы и среди других мероприятий особое место в его повышении занимает севооборот. Многочисленные исследования и обширные эксперименты показали, что люцерно-хлопковый севооборот является единственно эффективным способом рационального использования орошаемых земель. Сокращение корневых подкормок сельскохозяйственных культур и максимальное сосредоточение на некорневых подкормках снизит загрязнение почвы тяжелыми металлами и радиоактивными элементами.

Еще одним важным аспектом является то, что внекорневая подкормка повышает устойчивость хлопчатника, зерновых и других сельскохозяйственных культур к вредным насекомым [15].

Заключение

Таким образом, на орошаемых лугово-такрыных почвах рекомендуется вносить

150 кг азота, 125 кг фосфора, 50 кг калия вместе с 10 т/га навоза крупного рогатого скота или 3 т/га птичьего помета для получения более высокой урожайности 60-64 т/га пшеницы сорта Андижан-1.

Внесением минеральных и органических удобрений в сельскохозяйственные земли достигается повышение плодородия орошаемых лугово-такрыных почв.

Рекомендуется применение данных мероприятий по улучшению агроэкологического состояния орошаемых гидроморфных почв региона, предупреждение деградации, сохранение, повышение и охрана плодородия почв, размещение рентабельных сельскохозяйственных культур и управление земельными ресурсами.

Список литературы

1. Турдалиев А.Т., Аскарлов К.А., Мамажонов Г.Г. У. Агроэкологическое состояние гидроморфных почв Центральной Ферганы // Научное обозрение. Биологические науки. 2022. № 2. С. 66-70.
2. Газиев М.А., Турдалиев А.Т. Роль органических и минеральных удобрений в развитии физиологических групп микроорганизмов в системе севооборота // Современные фундаментальные и прикладные исследования. 2019. № 2. С. 9-12.
3. Исаков В., Юсупова М., Жалолов С. Фаргона водийси кумларининг экологик-геокимёвий ўзгаришлари // География ва ҳаёт илми ва тадқиқотлар. 2012. Б. 56-60.
4. Исаков В.Ю., Мирзаев У.Б. Марказий Фарғонада шаклланган арзикли тупроқларнинг хоссалари ва уларнинг инсон омили таъсирида ўзгариши. Тошкент: «Фан», 2009. 228 б.
5. Davronov Q.A., Saminova A.A.O., Xusanboyev O'. The importance of fungicides and stimulants in preparing seed grains. Asian journal of multidimensional research. 2021. V. 10.4. P. 415-419.
6. Jabbarov Z., Jobborov B., Fakhrutdinova M., Iskhokova Sh., Abdurakhmonov N., Zakirova S., Makhhammadiev S. Remediation of the Technogenic Soils. Annals of the Romanian Society for Cell Biology. 2021. P. 4503-4510.
7. Исаков В.Ю., Мирзаев У.Б., Юсупова М.А. Особенности характеристики почв песчаных массивов Ферганской долины // Научное обозрение. Биологические науки. 2020. № 1. С. 15-19.
8. Камиллов О.К., Исаков В.Ю. Генезис и свойства окисленно-загипсованных почв Центральной Ферганы. Т., 1992. 127 с.
9. Turdaliev A., Yuldashev G., Askarov K. and Abakumov E. Chemical and Biogeochemical Features of Desert Soils of the Central Fergana. Agriculture (Pol'nohospodárstvo). 2021. V. 67. Issue 1. P. 16-28. DOI: 10.2478/agri-2021-0002.
10. Эшпулатов Ш., Тешабоев Н., Мамадалиев М. Introduction, properties and cultivation of the medicinal plant stevia in the conditions of the Ferghana Valley. Eurasian Union Scientists. 2021. V. 2. № 2 (83). P. 37-41.
11. Хайдаров М.М. Основы применения гуминовых веществ в светлых сероземах. Scientific Bulletin of Namangan State University. 2020. V. 2(8). P. 87-93.
12. Методы агрофизических исследований. Т., 1978. С. 42-49.
13. Методы агрохимических исследований почв и растений Т., 1979. С. 12-24.
14. Кузиев Р.К., Юлдашев Г.Ю. Бонитировка почв (узб.) Т., 2004. С. 26-35.
15. Turdaliev A.T., Askarov K.A., Khodjibolaeva N.M. Effective use of irrigated hydromorphic soils. Scientific Bulletin of Namangan State University. 2021. № 7. С. 140-145.

УДК 595.762.12/.763

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ ЖУКОВ-ГЕРПЕТОБИОНТОВ В АГРОЦЕНОЗАХ ЗЕРАВШАНСКОЙ ДОЛИНЫ

¹Хамзаев Р.А., ²Алимова Л.Х., ¹Умурзакова М.С., ^{1,3}Халимов Ф.З.

¹Самаркандский государственный университет, Самарканд, e-mail: xamzayev1988@mail.ru;

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

³Гулистанский государственный университет, Гулистан, e-mail: xalimov1968@list.ru

В исследованиях изучена сезонная динамика и соотношение основных групп герпетобионтных жуков в агроценозах Зеравшанской долины. Для сбора материала использовали световые ловушки. Исследования проводились в агрокомплексе, где основными культурами являются пшеница, люцерна и овощные культуры. Наиболее многочисленными среди изученных групп являются пластинчатоусые жуки (Scarabaeidae), на которых приходится 43,7% всех собранных жуков. Остальные семейства располагаются в следующем порядке: Tenebrionidae – 20,3%, Staphylinidae – 17,4%, Carabidae – 12,9%, Elateridae – 5,7%. Проведен корреляционный анализ между численностью герпетобионтных жуков и основными параметрами атмосферы и выявлена слабая положительная корреляция с температурой воздуха ($r=0,34$), слабая отрицательная корреляция с относительной влажностью воздуха ($r=-0,34$) и атмосферного давления ($r=-0,24$). Максимальная численность герпетобионтов наблюдается в начале июля. Колебания численности у Carabidae, Elateridae, Staphylinidae и Tenebrionidae происходят параллельно, хотя у представителей Elateridae колебания более стабильны. У представителей Scarabaeidae динамика численности существенно отличается от остальных групп и пик численности наблюдается в конце июня. При этом пластинчатоусые жуки сохраняют высокую численность до конца сезона.

Ключевые слова: Зеравшанская долина, герпетобионты, динамика численности, Carabidae, Staphylinidae, Tenebrionidae, Scarabaeidae, Elateridae

SEASONAL DYNAMICS OF THE POPULATION OF HERPETOBIONT BEETLES IN THE AGRICULTURAL CENOSIS OF THE ZERAVSHAN VALLEY

¹Khamzaev R.A., ²Alimova L.Kh., ¹Umurzakova M.S., ^{1,3}Khalimov F.Z.

¹Samarkand State University, Samarkand, e-mail: xamzayev1988@mail.ru;

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

³Gulistan State University, Gulistan, e-mail: xalimov1968@list.ru

The seasonal dynamics and the ratio of the main groups of herpetobiont beetles in the agroecosystems of the Zeravshan valley were studied. Light traps were used to collect material. The research was carried out in the agro-complex, where the main crops are wheat, alfalfa and vegetable crops. The most numerous among the studied groups are the scarab beetles (Scarabaeidae), which account for 43.7% of all collected beetles. The remaining families are located in the following order: Tenebrionidae -20.3%, Staphylinidae – 17.4%, Carabidae – 12.9%, Elateridae -5.7%. Carry out a correlation analysis between the number of herpetobiont beetles and the main parameters of the atmosphere and revealed a weak positive correlation with air temperature ($r=0.34$), a weak negative correlation with relative air humidity ($r=-0.34$) and atmospheric pressure – $r=-0.24$. The maximum number of herpetobionts is observed in early June. Population fluctuations in Carabidae, Elateridae, Staphylinidae, and Tenebrionidae occur in parallel, although the fluctuations are more stable in representatives of Elateridae. In representatives of Scarabaeidae, the dynamics of abundance differs significantly from other groups, and the peak of abundance is observed at the end of June. At the same time, banded beetles remain high in number until the end of the season.

Keywords: Zerafshan Valley, herpetobionts, population dynamics, Carabidae, Staphylinidae, Tenebrionidae, Scarabaeidae, Elateridae

Жуки, или жесткокрылые, являясь наиболее разнообразной и находящейся в биологическом прогрессе группой насекомых, составляют 38% (387 100 видов) всех известных насекомых. Среды них особое место по разнообразию и роли в экосистемах занимают герпетобионтные жуки, жизнь которых связана с почвой. К герпетобионтам относятся многие виды семейств Carabidae, Staphylinidae, Tenebrionidae, Silphidae, Histeridae, Scarabaeidae, Elateridae и др. Характеризующиеся высоким экологическим разнообразием и видовым составом, герпетобионты участвуют в миграции питательных веществ в почве и являются важ-

ной и неотъемлемой частью трофических связей. Часть из них, являясь хищниками, играют огромную роль в снижении численности вредных насекомых и сорняков [1-3], другая часть, будучи вредителями сельскохозяйственных растений, имеют высокое хозяйственное значение [4-6].

Целью настоящих исследований являлось изучение сезонной динамики основных групп герпетобионтных жуков.

Материалы и методы исследования

Жизнь одних герпетобионтов связана с почвой во всех стадиях, других – в определенных стадиях. Поэтому для учёта их чис-

ленности используются разнообразные методы. Мы для своих исследований выбрали наиболее универсальный метод, то есть световые ловушки, так как многие герпетобионты имеют положительный фототаксис.

Исследования проводились в агроценозах Жандарского района Бухарской области

Узбекистана. Световые ловушки устанавливали в течение сезона каждые 3-4 дня и учитывали количество прилетавших и прибегавших жуков. Внимание уделялось представителям только 5 семейств (Carabidae, Staphylinidae, Tenebrionidae, Scarabaeidae, Elateridae) жуков.

Таблица 1

Динамика численности основных групп герпетобионтных жуков в течение сезона

Дата учета	Carabidae	Tenebrionidae	Staphylinidae	Scarabaeidae	Elateridae	Общее кол.
20.04	10	4	3	7	2	26
24.04	8	8	6	38	5	65
29.04	14	11	15	51	8	99
4.05	19	7	34	37	14	111
8.05	25	9	22	28	17	101
11.05	6	4	1	10	7	28
14.05	11	13	20	31	9	84
18.05	3	1	2	7	2	15
22.05	9	6	4	9	3	31
26.05	23	13	56	41	9	142
1.06	156	108	145	67	16	492
4.06	90	38	65	21	17	231
7.06	56	67	50	56	23	252
9.06	23	15	5	76	12	131
12.06	64	31	35	167	14	311
15.06	21	6	36	178	18	259
18.06	15	12	24	98	21	170
22.06	34	15	126	201	46	422
25.06	32	16	109	145	51	353
29.06	44	24	134	101	48	351
3.07	200	1085	200	43	21	1549
4.07	2	40	4	7	9	62
5.07	29	200	20	10	16	275
6.07	20	15	3	2	10	50
9.07	64	31	29	250	14	388
10.07	21	6	28	135	18	208
14.07	19	2	126	262	5	414
16.07	12	1	78	119	4	214
17.07	30	2	26	207	6	271
19.07	8	13	39	107	1	168
20.07	12	3	21	67	2	105
23.07	26	1	14	156	5	202
24.07	2	3	7	318	1	331
25.07	5	1	7	362	21	396
27.07	2	5	7	166	14	194
29.07	28	6	15	172	11	232
31.07	3	2	6	114	6	131
1.08	10	3	22	50	4	89
2.08	8	4	23	31	3	69
Итого	1164	1831	1567	3947	513	9022

**Результаты исследования
и их обсуждение**

В исследованиях было собрано более 9000 экземпляров жуков. Даты учетов и количество выловленных жуков показаны в таблице 1.

Необходимо отметить, что полученные результаты не могут отражать истинную численность герпетобионтов, так как учет жуков проводился каждые 4-5 дней. Однако результаты позволяют оценить динамику изменения численности и определить соотношение разных таксонов.

Хотя герпетобионты появляются в агроценозах ранней весной, заметное увеличение численности наблюдается в начале июня. В 2022 году первый пик численности наблюдался 1 июня, в это время количество жуков составляло 500 экз./ловушка. Но потом отмечено некоторое снижение численности. Максимальное же количество наблюдается в начале июля, в нашем случае 3 июля (1549 экз./лов.). Это время совпадает с наименьшими показателями относительной влажности воздуха и атмосферного давления. Однако уже на следующем учете из-за усиления ветра наблюдалось резкое снижение количества жуков на ловушках, так как сильный ветер существенно препятствовал полету насекомых (рис. 1).

Что касается непосредственного влияния относительной влажности воздуха и атмосферного давления на активность лета жуков, трудно сделать какие-нибудь конкретные выводы, так как во время увеличения численности жуков в начале июня и в середине июля особых изменений гидротермического режима воздуха не наблюдалось.

Для выяснения влияния физических параметров атмосферы на численность жуков проводили корреляционный анализ (табл. 2). Выявлена слабая положительная корреляция между численностью герпетобионтных жуков и температурой воздуха ($r=0,34$). Между относительной влажностью воздуха и численностью жуков выявлена слабая отрицательная корреляция ($r=-0,34$). Еще слабее зависимость численности жуков от атмосферного давления ($r=-0,34$).

Необходимо отметить, что скорость ветра должна непосредственно влиять на при-

лет жуков к световой ловушке. При сильном ветре существенно уменьшается количество жуков в ловушках. Однако статистический анализ данных не выявил корреляционную зависимость между этими показателями ($r=0,01$). Видимо, из-за меньшего числа дней в сезоне с высокой скоростью ветра полученные данные недостаточны для статистических вычислений.

Численность представителей разных таксонов герпетобионтных жуков в течение сезона существенно различается. По численности преобладало семейство пластинчатоусых жуков (Scarabaeidae). За весь сезон количество попадавших в ловушки жуков из этого семейства составило 3947 особей (табл. 1). Почти все представители пластинчатоусых жуков, даже самые крупные, прилетают на свет. В течение всего сезона численность их была высокой по сравнению с другими группами. Максимальная численность пластинчатоусых жуков наблюдалась в третьей декаде июня. В это время количество жуков, попавших в одну ловушку, составило 362 особи.

На втором месте по численности особей оказалось семейство чернотелок (Tenebrionidae). За весь сезон было собрано 1831 экземпляр чернотелок. Надо отметить, что численность этих жуков во многих учетах уступала представителям других таксонов. Однако в период максимальной численности герпетобионтов, в начале июля, чернотелки явно преобладали по численности. 3 июля наблюдалось резкое увеличение численности чернотелок, и количество особей, попавших в ловушки за эту ночь, составило 1085 экземпляров. Это максимальный показатель за весь сезон среди всех групп герпетобионтов.

Такое резкое увеличение численности в основном наблюдалось за счет мелких видов. Хотя в этот день наблюдалось увеличение численности всех групп герпетобионтов, такое количество чернотелок, прилетевших на светоловушку, кажется несколько странным. Это может быть связано с появлением новых поколений наиболее массовых в агроценозах видов и/или благоприятными погодными условиями. Но окончательное выяснение ситуации требует дополнительных исследований.

Таблица 2

Показатели коэффициента корреляции (r) между физическими параметрами атмосферы и численностью герпетобионтных жуков

Физические параметры атмосферы	Температура воздуха	Относительная влажность воздуха	Атмосферное давление	Скорость ветра
Численность герпетобионтных жуков	0,34	-0,34	-0,24	0,01



Рис. 1. Изменение физических параметров атмосферы и численности комплекса герпетобионтных жуков в течение сезона

Многие виды чернотелок, особенно крупные виды, не умеют летать. Однако в наших опытах наблюдалось прибегание и таких видов к свету. В общем, среди чернотелок, прилетающих к свету, преобладают представители родов *Scleropatrum* и *Gonocephalum* (*Scleropatrum hirtulum*, *S. seidlitzii*, *S. brevisculum*, *Gonocephalum rusticum* и *G. setulosum*). 17,4% всех выловленных герпетобионтов составили представители семейства Staphylinidae. Как известно, они имеют более мелкие размеры тела и хорошую способность к полету.

За сезон наблюдается три пика численности стафилин. Первый пик численности приходится на начало июня, и в этот пе-

риод количество жуков на одну ловушку доходит до 145 особей. Максимум (второй пик численности) наблюдается в начале июля и доходит до 200 особей на ловушку. Третий пик численности наблюдается в середине июля (рис. 2).

Жужелицы составили 12,9% всех собранных герпетобионтов (1164 экз.). Жужелицы – наиболее многочисленная группа жуков в агроценозах, однако многие виды не имеют способности летать, и поэтому на свет не идут. В ловушку прилетели в основном мелкие и средние по размеру виды. Наибольшая численность жужелиц наблюдается в начале июня и начале июля.

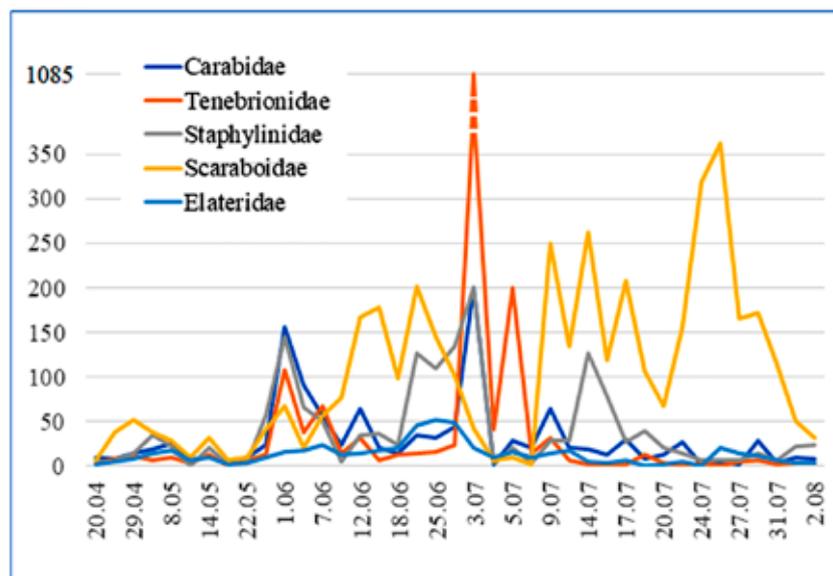


Рис. 2. Динамика численности основных групп герпетобионтов в течение сезона

Наименьшая численность среди герпетобионтов приходится на щелкунов (Elateridae), и они составили 5,7% всех собранных жуков. Однако это не дает информацию о плотности популяции отдельных видов. Щелкуны обладают наименьшим видовым разнообразием, и в исследуемом регионе встречается всего 11 видов [7]. Поэтому численность отдельных видов щелкунов достаточно высокая. Динамика численности щелкунов в течение сезона более стабильна по сравнению с другими герпетобионтами и не претерпевает резких колебаний.

Заклучение

Таким образом, среди изученных групп жуков-герпетобионтов по численности в агроценозах Зеравшанской долины преобладают представители семейства пластинчатоусых (Scarabaeidae), на которых приходится 43,7% всех собранных жуков. Остальные семейства располагаются в следующем порядке: Tenebrionidae – 20,3%, Staphylinidae – 17,4%, Carabidae – 12,9%, Elateridae – 5,7%.

Выявлена слабая положительная корреляция между численностью герпетобионтных жуков и температурой воздуха ($r=0,34$). Между относительной влажностью воздуха и численностью жуков выявлена слабая отрицательная корреляция ($r=-0,34$). Слабая отрицательная корреляция существует также в отношении атмосферного давления ($r=-0,24$). Однако статистический анализ данных не выявил корреляционную зависимость между количеством герпетобионтов и скоростью ветра ($r=0,01$).

Максимальная численность герпетобионтов наблюдается в начале июня. Но колебания численности представителей разных таксонов герпетобионтных жуков в течение сезона могут различаться. Так, если колебания численности у Carabidae, Elateridae, Staphylinidae и Tenebrionidae происходят параллельно, то у представителей Scarabaeidae динамика численности существенно отличается от остальных групп. Максимальная численность пластинчатоусых жуков приходится на конец июня.

Список литературы

1. Thiele H.U. Carabid Beetles in Their Environments: A Study on Habitat Selection by Adaptation in Physiology and Behavior. Springer-Verlag, Berlin, Germany, 1977. P. 1–369.
2. Гусева О.Г., Коваль А.Г. Оценка роли напочвенных хищных жесткокрылых (Coleoptera: Carabidae, Staphylinidae) в регуляции плотности популяций вредителей в агроэкосистемах // Энтомологическое обозрение. 2013. XCII. № 2. С. 241-250.
3. Serée L., Gardarin A., Crouzet O., Barbottin A., Valantin-Morison A., Chiron F. Exploring multitrophic interactions in oilseed rape fields reveals the prevailing role of Carabidae. Ecology and Evolution. 2021. V. 11. P. 15377–15388.
4. Traugott M., Benerfer C., Blackshaw R., van Herk W., Vernon R. Biology, ecology and control of elaterid beetles in agricultural land. Annu Rev Entomol. 2015. V. 60. P. 313–334. DOI: 10.1146/annurev-ento-010814-021035.
5. Poggi S., Le Cointe R., Lehmsus J., Plantegenest M., Furlan L. Alternative strategies for controlling wireworms in field crops: A review. Agriculture. 2021. V. 11. P. 436. DOI: 10.3390/agriculture e11050436.
6. Vernon R., van Herk W. Wireworms as pests of potatoes. Second Edition. In: Giordanengo P, Vincent C, Alyohkin A (eds) Insect pests of potato: Global perspectives on biology and management. Academic Press, California, 2022. P. 103–148.
7. Хамзаев Р.А., Алимова Л.Х. Таксономический состав фауны жуков-щелкунов (Coleoptera, Elateridae) Нижнего Зеравшана // Узбекский биологический журнал. 2022. № 4. С. 32-63.

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 663.4

КАЧЕСТВО И БЕЗОПАСНОСТЬ КРАФТОВОГО ПИВА**Бурак Л.Ч.***ООО «Белросаква», Минск, e-mail: leonidburak@gmail.com*

Крафтовое пиво постепенно завоевывает предпочтения потребителей, создавая достойную конкуренцию промышленным предприятиям пивоваренной отрасли. Определение «крафтовая пивоварня» используют по отношению к мини-пивоварне, объемы производства пива которой незначительны. В процессе производства крафтового пива применяется классическая технология и используется традиционное сырье. Вместе с тем в качестве отличительных особенностей крафтовых сортов в ходе технологического процесса производства дополнительно используют травы, пряно-ароматическое сырье, фрукты, соки, экстракты и натуральные ароматические вещества. Разработка новых рецептур сортов пива оправдана, так как вносимое пряно-ароматическое и фруктовое сырье является источником биологически активных соединений, способствующих увеличению антиоксидантной активности крафтового пива. Кроме того, крафтовое пиво редко подвергается фильтрации и пастеризации, что исключает потерю, поэтому данный напиток содержит в своем составе много полезных микроэлементов и биологически активных веществ. Отсутствие фильтрации и пастеризации в крафтовом пивоварении требует строгого соблюдения санитарно-гигиенических норм, с целью обеспечения качества и безопасности готового продукта. Попадание в процессе производства крафтового пива физических, химических или микробиологических источников загрязнения представляет большую проблему для качества готового продукта и потенциальную опасность для здоровья потребителя. Источниками загрязнения являются сырье, а также несоблюдение требований технологического процесса и санитарных норм и правил. Данный научный обзор посвящен анализу потенциальных источников загрязнения крафтового пива и необходимым мерам по обеспечению качества и безопасности готовой продукции.

Ключевые слова: пиво, крафтовое пиво, загрязнение, микробиологическая порча, безопасность, микотоксины, сусло, хмель

QUALITY AND SAFETY OF CRAFT BEER**Burak L.Ch.***LLC Belrosakva, Minsk, e-mail: leonidburak@gmail.com*

Craft beer is gradually gaining consumer preferences, creating worthy competition for industrial enterprises in the brewing industry. The term "craft brewery" is used in relation to a mini-brewery, whose beer production volumes are insignificant. The craft beer production process uses classical technology and traditional raw materials. At the same time, herbs, spicy-aromatic raw materials, fruits, juices, extracts and natural aromatic substances are additionally used as distinctive features of craft varieties in the course of the production process. The development of new recipes for beer varieties is justified, since the introduced spicy aromatic and fruit raw materials are a source of biologically active compounds that increase the antioxidant activity of craft beer. In addition, craft beer is rarely filtered and pasteurized, which eliminates loss; therefore, this drink contains many useful microelements and biologically active substances. The absence of a filtration and pasteurization process in craft brewing requires strict adherence to sanitary and hygienic standards in order to ensure the quality and safety of the finished product. The introduction of physical, chemical or microbiological sources of contamination during the production of craft beer is a big problem for the quality of the finished product and a potential hazard to the health of the consumer. Sources of pollution are raw materials, as well as non-compliance with the requirements of the technological process and sanitary norms and rules. This scientific review is devoted to the analysis of potential sources of contamination of craft beer and the necessary measures to ensure the quality and safety of the finished product.

Keywords: beer, craft beer, contamination, microbiological spoilage, safety, mycotoxins, wort, hops

Проведенный научный поиск и анализ научных публикаций показывает, что за последнее десятилетие интерес ученых во всем мире к крафтовому пиву существенно вырос. В соответствии с основной базой данных научных статей и цитирований Scopus, с 2010 г. по 2021 г. опубликовано 372 статьи, где идет речь о крафтовом пиве, наибольшее количество их опубликовано в 2017 г. Как правило, крафтовое пиво производят небольшие пивоварни, которые используют традиционные, классические методы производства пива, исключая пастеризацию в конце процесса, отдавая предпочтение качеству, а не количеству. Как правило, такими пивоварнями руководит мастер-

пивовар, который старается производить уникальный по вкусу и качеству сорт пива. Фактически в настоящее время стало модным производить пиво на небольших независимых крафтовых пивоварнях, где ищут особое пиво (безглютеновое, функциональное или пробиотическое пиво и т.д.), зная, что потребители теперь отдают предпочтение полезным для здоровья и приятным на вкус продуктам и напиткам.

Органолептические показатели качества пива определяются некоторыми общими параметрами, такими как pH, горечь, содержание спирта и цвет, но в настоящее время не менее важно учитывать и некоторые другие характеристики, такие как антиок-

сидантная способность, содержание фолиевой кислоты или полифенолов, из-за пользы для здоровья, которую помогают обеспечить биологически активные соединения.

Единого определения, что такое крафтовое пиво, нет, но существует несколько юридических определений, установленных национальным законодательством конкретной страны, также применяются определения, которые используют в своей работе различные региональные или национальные торговые организации, такие как Ассоциация пивоваров, Общество независимых пивоваров Великобритании, Ассоциация немецких пивоваров, Австралийская независимая ассоциация пивоваров и другие [1]. Первые крафтовые пивоварни в России начали открываться в 2011–2012 г., но все было ограничено и точно, а расцвет пришелся на 2015 г. Именно тогда о крафте стали говорить, обсуждать, да и вообще этот термин появился в обиходе. В Республике Беларусь крафт развивается в рамках небольших пивоварен, но активнее всего в формате так называемого «промышленного крафта», когда линейки особенного специального пива выпускают крупнейшие пивоваренные предприятия страны. Первооткрывателем промышленного крафтового пива является ОАО «Лидское пиво», которое в 2014 г. открыло в Беларуси продажи первого промышленного крафта, «Вечер в Брюгге», который до сих пор производится и реализуется потребителям. За семь лет рынок крафтового пива в республике значительно изменился, появились другие производители, практически все крупные пивоваренные предприятия вошли в сегмент крафтового пива. Насчитывается более ста сортов, и ценовой диапазон приемлем практически для любого уровня дохода потребителей. Все это значительно увеличивает конкурентную борьбу за конечного покупателя. Несмотря на впечатляющий прогресс с точки зрения ассортимента, представленности и доступности, крафт по-прежнему занимает незначительную нишу пивного рынка Республики Беларусь. В других странах в последние годы, когда крафтовые пивоварни завоевали большую долю рынка, крупные пивоваренные компании отреагировали по-разному. Некоторые компании приобрели себе производителей крафтового пива, пополнив свой ассортимент сортами крафтового пива, с целью влияния на бары и других розничных покупателей [1]. Инновации в крафтовом пиве в основном касаются таких аспектов, как сырьевые ингредиенты, содержание алкоголя, выдержка, изотоничность и упаковка, чтобы привлечь интерес широкого круга потребителей.

Что касается производства промышленного пива, то основными ингредиентами крафтового пива являются вода, ячменный или пшеничный солод, хмель и дрожжи. Относительно ингредиентов и с учетом баварского закона о чистоте и других конкретных национальных законодательств, инновации проявляются в использовании новых смесей зерновых культур, совершенствовании существующего зернового солода, новых сортов хмеля, новых дрожжевых культур, фруктов, овощей и других экстрактов и ароматических веществ с целью улучшения/изменения органолептических показателей продукта, персонализировать пивной стиль или предложить новый стиль [2]. Что касается разработки дрожжей для крафтового пивоварения, набирающие популярность тенденции крафтового пива включают: исследование новых эффективных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*; создание синтетических гибридов *S. cerevisiae* – *Saccharomyces non cerevisiae*, с действием, аналогичным действию лагерных дрожжей; и применение одних диких или отобранных дрожжей, не являющихся *Saccharomyces*, или в кокультуре, или последовательной ферментации с *S. cerevisiae* для пивоварения кислого крафтового пива [3]. Чтобы расширить количество штаммов, используемых в производстве крафтового пива, интересы нескольких лабораторий и пивоваренных заводов были сосредоточены на диких дрожжах для характеристики их способности к брожению пива и выбора штаммов с желательными пивоваренными характеристиками. В свете этого гетеролактическая ферментация сахаров наблюдалась у штаммов *Schizosaccharomyces japonicus*, *Hanseniaspora Vineae*, *Lachancea fermentati* и *L. thermotolerans*, а также *Wickerhamomyces anomalus*, что делает возможным их использование в новой обработке кислого пива, известной как «первичное сквашивание». Таким образом можно избежать использования молочно-кислых бактерий, которые вместо этого необходимы в традиционном процессе кислого пива [4].

Классический процесс крафтового пивоварения включает в себя следующие операции: сололожение (проращивание злаков, таких как ячмень и/или пшеница); затирание (активация солодовых α - и β -амилаз и протеазы для расщепления крахмала и белков солода и несоложенных злаков на сахара, пептиды и аминокислоты); фильтрация (затор, рециркуляция и барботирование) для отделения жидкого суслу от твердых остатков; сепарирование (отделение нерастворимых компонентов); и стадии фер-

ментации, которые включают первичную ферментацию, выдержку, или вторичную ферментацию, и повторную ферментацию, которая происходит в бутылочном пиве. В отличие от промышленного пива, многие крафтовые сорта пива нефильтрованные и непастеризованные, чтобы сохранить аромат, исходящий от используемых ингредиентов и стадии ферментации. Тем не менее технологии, такие как высокое гидростатическое давление (ННР) и гомогенизация сверхвысокого давления (УНРН), могут применяться для снижения микробной нагрузки пива при очень низком нагреве. Фактически, обработка ННР позволяет повысить температуру пива всего на 2–3°C / 100 МПа из-за адиабатического тепла сжатия, тогда как при обработке УНРН температура может достигать 100°C, хотя и на очень короткое время (0,2 с). Импульсный свет – еще одна многообещающая холодная технология, способная снизить количество пищевых микроорганизмов, на основе его способности излучать световую вспышку широкого спектра (от 200 до 1100 нм) с примерно 25% в УФ-диапазоне [1, 5].

Одна из самых заметных тенденций – выдержка крафтового пива в бочках. В процессе выдержки в течение периода от 6 месяцев до 3 лет дубильные вещества, которые содержатся в древесине бочек, передают пиву ароматические соединения, фенольные вещества, а также микроорганизмы, которые влияют на их конечные органолептические свойства. Компоненты, связанные с дубом, включают: ванилин, придающий типичный ванильный аромат; синапальдегид; сиреневый альдегид, который окисляется до сиринговой кислоты и вызывает вяжущее ощущение во рту; и фурановые альдегиды, такие как 5-гидроксиметилфурфурол и фурфурол, которые придают пиву жареный вкус. Микроорганизмы, такие как *Pediococcus* spp., *Lactobacillus* spp. и *Acetobacter* spp., были обнаружены в пиве бочковой выдержки [6]. Так же как и все сорта пива, крафтовое не застраховано от воздействия внутренних и внешних загрязнителей.

Химическое загрязнение может произойти в результате выращивания зерна, обработки и упаковки. Например, заражение сельскохозяйственных культур микотоксинами (ниваленол (NIV), дезоксиниваленол (DON), зеараленон (ZEA), дезоксиниваленол-3-глюкозид (DON-3-Glc), фузаренон-X (FUS-X), 3-ацетил-дезоксиниваленол (3-ADON), 15-ацетил-дезоксиниваленол (15-ADON), токсин HT-2 (HT-2) и токсин T-2 (T-2)) оцениваются между 60 и 80% (45% более 40 лет назад) [7].

Осведомленность о возможном присутствии различных видов загрязняющих веществ в пищевых продуктах, в данном случае в пиве, может помочь применить различные стратегии для усиления контроля и уменьшения вредного воздействия. В данном обзоре мы хотим выделить наиболее распространенные загрязнители пива, а также те, которые чаще встречаются и оказывают значительное влияние на переработку продукта и здоровье человека.

Поскольку присутствует этанол (0,5–10% мас./мас.), а также хмелевые горькие соединения (приблизительно 17–55 частей на миллион изо- α -кислот), низкий уровень pH (3,8–4,7) и высокое содержание углекислого газа (приблизительно 0,5% мас./об.), пиво является микробиологически стабильным напитком [8].

Каждый тип пива отличается своими специфическими свойствами, такими как цвет, содержание алкоголя, прозрачность, вкус, горечь, ингредиенты и даже микробное разнообразие. Крафтовое пиво реализуется в основном через сеть баров и ресторанов, поэтому существует потенциальная возможность загрязнения, поэтому вопрос качества и безопасности весьма актуален.

1. Безопасность пива

Несмотря на то, что пиво не является оптимальной средой для роста микроорганизмов, некоторые виды могут размножаться в пиве, изменяя его свойства, вызывая порчу и неприятный привкус [9]. Крафтовое пиво более подвержено порче, чем пиво, приготовленное на крупных промышленных предприятиях, вероятно потому, что оно реже подвергается пастеризации или стерильной фильтрации.

Порча пива наносит пивоварне экономический ущерб и, что самое главное, утрату доверия потребителей. Бактерии, вызывающие порчу пива, входят в состав грамположительных молочнокислых бактерий и грамотрицательных уксуснокислых бактерий [10–11]. Другие микроорганизмы, которые могут вызывать порчу пива, недостаточно изучались, их необходимо изучить. Порча и загрязнение пива в редких случаях были вызваны бактериями, принадлежащими к родам *Staphylococcus*, *Bacillus*, *Enterobacter* и *Zygomonas*, которые изменяли pH конечного продукта, создавая осадок, тягучесть, помутнение и неприятный привкус. Одним из наиболее важных факторов роста клеток в пиве является температура. При снижении температуры с 35 до 4°C порча пива значительно уменьшилась, а это означает, что низкая температура играет

существенную роль в защите пива от порчи, например, *Staphylococcus xylosus*. Качество пива может ухудшиться из-за микотоксинов, образующихся при грибковом заражении пивоваренного ячменя. Нормы максимально допустимого уровня дезоксиниваленола, например, различаются от страны к стране и могут варьироваться от 0,75 до 1,17 мкг/г ячменя [12, 13]. В процессе соложения используются физические, химические и биологические обработки для уменьшения грибкового заражения. Одним из способов уменьшения грибкового заражения является использование микроорганизмов в качестве противогрибкового лечения, что эффективно, поскольку они проявляют чувствительность к окружающей среде и устойчивость. Однако на их эффективность могут влиять микробные взаимодействия или различные побочные эффекты. В исследовании описывается более эффективный биофунгицид, используемый в процессе соложения, с использованием обратной транскрипции – полимеразной цепной реакции (RT-PCR) для количественной оценки противогрибкового потенциала оомицетов *Pythium oligandrum* на ячмене, естественно или искусственно зараженном тремя видами *Fusarium* [14].

Биогенные амины представляют значительную группу химических загрязнителей пива. Группой ученых было проанализировано 118 образцов крафтового пива, произведенного на микропивоварнях Центральной Европы. Результаты показали, что более 30% проб имели общее содержание биогенных аминов в пределах 50–100 мг/л. Наиболее часто выявляемыми биогенными аминами были тирамин, путресцин и кадаверин. Однако в 18% образцов крафтового пива общее количество биогенных аминов превышало 100 мг/л [15].

Технология пива включает в себя операции, позволяющие повысить или понизить исходный уровень микотоксинов. Установлено, что затирание может снизить уровень микотоксинов – охратоксина А (ОТА), афлатоксина В₂ (AFB₂), фумонизина В₂ (FMB₂), афлатоксина G₁ (AFG₁), афлатоксина В₁ (AFB₁), зеараленона (ZON) и патулина. ПАТ) – на 50% от их исходного уровня [16]. Другие исследования показали, что ферментация может полностью удалить некоторые микотоксины (например, ZON и патулин [17, 18]. Выведение микотоксинов из пива в основном зависит от их перехода в пивную дробину. Наиболее важные процессы производства пива положительно влияют на снижение уровня микотоксинов: замачивание, сушка, затирание, ферментация и осветление [16]. В целом концентрации био-

генных аминов до 100 мг/кг или 100 мг/л считаются безопасными для потребителя.

2. Микробиологическая безопасность пива

В условиях крафтовой пивоварни часто бывает сложнее добиться строгого соблюдения санитарно-гигиенических норм в процессе приготовления пива. Обычное и в основном нетрадиционное сырье, такое как фрукты, травы, мед, специи и овощи, добавленные после кипячения суслу, увеличивают риск микробной порчи пива из-за их собственной микробной обсемененности [17]. Общее предположение состоит в том, что выживаемость патогенных микроорганизмов в пиве низка из-за различных ингибирующих факторов, таких как этанол (0,5–10% (мас./мас.)), хмелево-горькие соединения, низкий pH (3,8–4,7), углекислый газ, низкое содержание кислорода и отсутствие питательных субстратов [19], факторы, производные от технологического потока производства пива. Тем не менее текущая тенденция в производстве пива (снижение содержания этанола и горечи) может представлять потенциальный риск порчи пива. Есть несколько исключений грамположительных бактерий, таких как *Lactobacillus* и *Pediococcus*, которые могут расти в пиве [19]. Для молочнокислых бактерий устойчивость к хмелю имеет решающее значение для их способности выживать и размножаться в пиве. Соединения хмеля, в основном изо- α -кислоты в пиве, обладают антибактериальной активностью в отношении грамположительных бактерий [17].

Микробиологическое загрязнение имеет различные источники. Первичные загрязнители образуются из сырья и пивоваренного оборудования, а вторичные загрязнители попадают в готовый продукт во время розлива в бокалы или розлива в кеги. Приблизительно 50% установленных микробиологических загрязнений можно отнести к вторичным загрязнениям, но первичное загрязнение более вредно, поскольку может поставить под угрозу весь процесс приготовления напитка [20]. Загрязнение пива через пивоваренное оборудование вызвано неправильными способами и методами очистки и дезинфекции.

2.1. Молочнокислые бактерии и другие ферментативные бактерии и порча пива

Пиво имеет низкий pH (3,8–4,7) и благодаря дрожжевому брожению имеет селективную питательную концентрацию, недостаточную для развития многих бактерий [16], но, несмотря на это, небольшое количество микроорганизмов способно ис-

портить пиво. Бактерии, портящие пиво, представляют собой серьезную проблему для пивоваренного бизнеса во всем мире, поскольку случаи порчи могут нанести ущерб ценности бренда и привести к дорогостоящим затратам [21].

Различные неприятные органолептические изменения являются частыми индикаторами микробной инфекции. Штамм *Staphylococcus xylosus* был обнаружен в произведенном мутном крафтовом пиве с неприятным привкусом, которое пивоварни продают на местном рынке. *S. xylosus* – микроб, обитающий на коже людей и животных, а также распространенная бактерия, встречающаяся в пищевых продуктах и сырье [22]. Этот штамм хорошо рос в присутствии хмелевых экстрактов и имел высокий потенциал испортить пиво.

Кислый вкус пива часто связан с уксуснокислыми и молочнокислыми бактериями. Две молочнокислые бактерии, которые, как считается, наиболее широко распространены в пиве, – *Pediococcus damnosus* и *Lactobacillus brevis*. Сильный маслянистый и диацилиловый привкус обычно является признаком заражения *P. Damnosus*. Менее частые загрязнения вызываются *Lactobacillus brevis*, *L. lindneri*. Молочнокислые бактерии (МКБ) являются наиболее распространенными бактериями, вызывающими порчу пива. Было установлено, что на долю МКБ приходится 60–90% опасностей микробиологических загрязнений на пивоваренных заводах. Типичная деградация пива МКБ приводит к помутнению, кислотности, газообразованию и постороннему привкусу из-за образования побочных метаболитов. *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus lindneri* и *Pediococcus Damnosus* являются наиболее часто выделяемыми МКБ, вызывающими порчу пива [19].

2.2. Дрожжи и порча пива

Дрожжи – это хемоорганотрофные микроорганизмы, которые получают углерод и энергию за счет переваривания органических веществ. До процесса кипячения процессы в технологии пива представляют наименьший риск заражения дрожжами, поскольку дрожжи не термоустойчивы и не могут выдержать даже малейшего отклонения процесса кипячения.

Наиболее частыми признаками того, что пиво испорчено дрожжами, являются образование поверхностной пленки, посторонний привкус и мутность из-за способности диких дрожжей не образовывать хлопьев [23]. В связи с растущей популярностью крафтового пива и нетрадиционных продуктов в пивоваренной промышлен-

ности все большее значение приобретают дикие дрожжи. Безалкогольное и слабоалкогольное ароматизированное пиво микробиологически неустойчиво из-за высокого содержания сахара, что может увеличить количество испорченных видов диких дрожжей [24].

По экономическим причинам повторное использование дрожжей является обычной практикой при производстве крафтового пива. Считается, что высокая жизнеспособность дрожжей, которая измеряет здоровье дрожжей, улучшает ферментацию и качество продукта. Здоровье дрожжей связано с эффективностью и предсказуемостью брожения, а также с ароматом и вкусом конечного пива. Таким образом, жизнеспособность дрожжей может напрямую влиять на производительность и финансовую эффективность пивоварни [25]. Правильный сбор, хранение и засев дрожжей необходимы для эффективного брожения. Во избежание микробиологического загрязнения во время этих процессов следует принимать меры предосторожности. Кроме того, чтобы предотвратить потерю качества дрожжей, повторное использование дрожжей целесообразно проводить не более десяти, а лучше пять или шесть [26]. Дрожжи в лучшем состоянии производят больше сульфитов и меньше сивушных спиртов, чем старые или инфицированные дрожжи [27]. Длительное повторное засеивание дрожжей может привести к деградации из-за вызванных стрессом физиологических изменений, генетических изменений исходной культуры и перекрестного загрязнения другими культурами или дикими микроорганизмами [28]. Частота внесения дрожжей также влияет на вкус пива. Более высокие скорости засева ускоряют ферментацию, но в конечном итоге ухудшают здоровье дрожжей.

Микробное заражение, основными представителями которого являются *Staphylococcus*, *Leuconostoc pseudomesenteroides* и *Acetobacter* sp., также происходит в помещении розлива [10].

Высокое содержание дрожжей в упакованном пиве или длительный контакт с дрожжами после брожения могут придать дрожжевой привкус, который по мере разложения дрожжей может перерасти в мармитовый или мясной привкус. Если используется бочковое или бутылочное кондиционирование, количество дрожжей должно быть в пределах 0,52 млн кл./мл после завершения первичного брожения и диацилилового остатка. Затем пиво следует отделить от дрожжей [29].

Сообщается, что производство вкусовых соединений (сложных эфиров и фе-

нольных соединений) улучшает вкус пива при использовании смешанных культур *Pichia kluyveri* и *Brettanomyces*, *Torulasporea delbrueckii* и *Saccharomyces cerevisiae*, *Naumovozyma dairenensis* и *Saccharomyces cerevisiae* [30]. С другой стороны, перепроизводство сложных эфиров может придать пиву горьковатый, чрезмерно фруктовый вкус. Пивовару необходимо поддерживать соответствующие условия для создания сбалансированного органолептического профиля пива [31]. Среди наиболее часто используемых методов, предназначенных для выявления микробиологической порчи пива, – чашечный подсчет, полимеразная цепная реакция и проточная цитометрия [24].

3. Химическая безопасность пива

3.1. Микотоксины

Плесневые грибы, такие как *Aspergillus*, *Penicillium* и *Fusarium*, производят токсичные вторичные метаболиты, называемые микотоксинами. Почти каждый микотоксин является иммунодепрессантом и может быть классифицирован как гепатотоксин, нейротоксин, нефротоксин или канцероген, оказывающий острое и/или хроническое воздействие на здоровье человека и животных [32]. Сообщалось о микотоксинах в различных видах пищевых продуктов, но наиболее важным источником этих метаболитов являются потребляемые во всем мире продукты, такие как злаки (пшеница, ячмень, кукуруза или рис) [32]. В настоящее время потребители выбирают высококачественное пиво с особенными, уникальными органолептическими свойствами от небольших и местных пивоварен. Наличие микотоксинов было установлено в некоторых сортах крафтового пива [33].

Грибковое заражение зерен ячменя и солода, особенно видами *Fusarium*, может быстро поставить под угрозу безопасность и качество солода и пива. Загрязнение пива грибами связано с явлением «выплескивания», которое вызывает чрезмерное пенообразование пива, приводящее к переливу. Другими негативными последствиями загрязнения ячменя являются снижение продуктивности производства солода, полноты ядра и прорастания [34].

Наиболее распространенными микотоксинами, обнаруженными в различных образцах ячменя и солода, являются: ниваленол (NIV), дезоксиниваленол (DON), зеараленон (ZEA), дезоксиниваленол-3-глюкозид (DON3G), фузаренон-X (FUS-X), 3-ацетилдезоксиниваленол (3ADON), 15-ацетилдезоксиниваленол (15ADON), токсин HT-2 (HT-2) и токсин T-2 (T-2) [32]. Одним

из наиболее часто встречающихся микотоксинов в ячмене является ДОН, в основном продуцируемый *Fusarium graminearum* [33].

В 2015 г. авторы Piacentini et al. проанализировали два соответствующих микотоксина (DON и FB₁) методом ВЭЖХ из 53 различных сортов бразильского крафтового пива (эль и лагер). На физико-химические свойства пива это никак не повлияло. Таким образом, pH, кислотность и настоящий экстракт соответствовали бразильским нормам, а это означает, что уровень микотоксинов не влияет на качество пива. Для темного пива были получены следующие результаты: pH (4,55 ± 0,27), кислотность (0,26 ± 0,06) и действительный экстракт (5,40 ± 1,48). Аналогичные результаты были получены для светлого пива: pH (4,74 ± 0,21), кислотность (0,24 ± 0,07) и экстракт (5,17 ± 1,59). Из положительных образцов среднее значение 221 мкг/л (32% от всех образцов) было зарегистрировано для ДОН и 105 мкг/л (15,09% от всех образцов) для FB₁.

Тот же автор провел еще одно исследование в 2017 г. на 114 бразильских лагерах. Из этих образцов около 50% имеют положительную реакцию на FB₁ в диапазоне от 201,70 до 1568,62 мкг/л. Что касается ДОН, ни в одном из образцов эти микотоксины не были обнаружены.

Группа ученых, Peters et al., проанализировала выборку из 1000 сортов пива (60% крафтового пива) из 47 стран на наличие различных микотоксинов: афлатоксина В₁, охратоксина А (ОТА), фумонизинов (FBs). Это исследование выявило больше микотоксинов в крафтовом пиве, чем в промышленном [35]. Что касается типа брожения, то в том же исследовании 2019 г. было замечено, что эль имеет более высокий уровень загрязнения (42%) по сравнению с лагером (29%), что может быть связано с адсорбцией токсина клетками дрожжей во время ферментации [35, 31].

Другое исследование было проведено на 83 образцах итальянского пива (крафтового и промышленного) с использованием ВЭЖХ-ФЛД для обнаружения ОТА, ГХ-МС для ДОН и ЖХ-МС/МС для стеригматоцистина (СТХ). Сообщалось о низких концентрациях упомянутых микотоксинов как в крафтовом, так и в промышленном пиве, и обнаруженные значения не оказывают влияния на здоровье потребителя [36].

Точно так же исследование, проведенное Mastanjević et al., 2018, показало, что *Fusarium culmorum* не оказывает негативного влияния на процесс пивоварения, поскольку дрожжи являются ферментативными микроорганизмами и могут адсорби-

ровать микотоксины на компонентах своей клеточной стенки [37]. Концентрация триптофала в три раза выше в образцах пива, инфицированных *Fusarium culmorum*. Триптофол является востребованным соединением в ферментационной промышленности, поскольку он улучшает вкус и аромат ферментированных продуктов и напитков [36].

Все исследования показали, что очень высокого уровня загрязнения микотоксинами не было. DON, ZEA, FBs, HT-2 и T-2, по-видимому, являются наиболее изученными микотоксинами в ячмене и пиве. Замачивание, сушка, затирание, ферментация могут оказывать ингибирующее действие на уровни микотоксинов, поскольку они могут быть удалены, разбавлены или разрушены после термической обработки. Однако удалить DON в технологическом процессе затруднительно, так как это соединение химически стабильно и термостойко. С другой стороны, ЗЕН удаляется примерно на 60% с пивной дробинкой [37].

3.2. Тяжелые металлы

Как природные, так и антропогенные факторы вносят тяжелые металлы в окружающую среду. Тяжелые металлы, в отличие от органических загрязнителей, не растворяются и постоянно находятся в окружающей среде. Кроме того, более широкое использование химических удобрений и пестицидов может повысить концентрацию тяжелых металлов в почве и растениях. Из-за возможных опасностей накопление тяжелых металлов в почве и растениях стало серьезной проблемой для здоровья людей [38].

Ионы металлов, таких как Cu, Mn и Zn, необходимы для физиологических функций, а некоторым ферментам требуются ионы металлов для каталитической активности [38, 39]. Другие металлы, такие как Al, Cd, Hg и Pb, опасны даже в малых количествах и не нужны для биологических процессов в организме.

Тяжелые металлы могут быть обнаружены в пиве из-за сельскохозяйственных гербицидов, фунгицидов и бактерицидов, содержащих эти вредные металлы [40]. Отбраковка конкретных загрязненных партий является основным действием, направленным на снижение или устранение этой опасности [41].

Пивовары и потребители особенно заинтересованы в определении общего состава металлов в пиве, включая основные, второстепенные и микроэлементы [40].

Еще одним источником тяжелых металлов в крафтовом пиве является загрязнение пивоваренного оборудования, такого как трубопроводы, резервуары, контейнеры

и оборудование для фильтрации, используемое для обработки пива, включая ферментацию, кондиционирование, фильтрацию, карбонизацию и упаковку. Загрязнение пива также может происходить из тары, в которой хранится и доставляется готовый продукт (бочки и кеги).

Согласно исследованию Eticha and Hymete средние концентрации металлов в пиве местного производства в Эфиопии были следующими: 0,0014 мг/л для Cd, 0,0368 мг/л для Cu, 0,0954 мг/л для Mn, 0,006 мг/л для Pb. и 1,5206 мг/л для Zn. Однако оценка риска средних уровней не выявила риска для здоровья, связанного с этими тяжелыми металлами при употреблении в пиве [42].

3.3. Биогенные амины

Количество биогенных аминов (БА) в пиве определяется наличием активности декарбоксилазы аминокислот у многих микроорганизмов, участвующих в брожении. Основным источником биогенных аминов в пиве является метаболизм молочнокислых бактерий [9]. Наиболее вредным для здоровья человека БА является гистамин из-за его потенциального аллергического или иммунного ответа у чувствительных лиц. Источником БА в пиве чаще всего является сырье (солод) и загрязняющая микрофлора, особенно при производстве крафтового пива.

4. Оценка рисков и система НАССР (анализ рисков и критические контрольные точки) в производстве крафтового пива

На нескольких этапах производственного процесса биологические, химические и физические загрязнители могут оказывать негативное влияние на качество пива. Программу НАССР представляет собой превентивный методический подход к безопасности пива, который устраняет риск путем предотвращения. Применяя подход НАССР, операторы могут снизить эту вероятность.

Большинство стран во всем мире в настоящее время применяют НАССР, поскольку его значение и признание постоянно растут. Директивы Совета 91/43/93 и 92/5/92, в частности, ввели принятие НАССР на всей территории ЕС. В Республике Беларусь практически все предприятия пивоваренной отрасли внедрили систему НАССР, в том числе и мини-пивоварни, выпускающие крафтовые сорта пива. Наблюдаемая тенденция в последние годы – процесс интеграции НАССР и ISO 9001 или ISO 9002 в контексте всеобщего управления качеством [43].

Перед внедрением системы качества крафтовые пивоварни должны приложить усилия для создания плана НАССР, который обычно делится на пять этапов [44]: а) определение ресурсов НАССР и создание группы; б) описать сырье, готовые сорта пива и механизм их реализации; в) четко обозначить предполагаемое использование и потребителей; г) создать схему технологического процесса и д) подтвердить точность этой схемы при фактическом использовании (эксплуатации).

Перечисленные ниже семь принципов НАССР служат основой для написания НАССР

1. Проведите анализ рисков.
2. Используйте дерево решений НАССР, чтобы найти критические контрольные точки (ККТ).
3. Назначьте критические пределы (КП) для каждой ККТ.
4. Создайте программу мониторинга.
5. Создайте корректирующие меры.
6. Создайте систему ведения записей.
7. Создавайте протоколы проверки.

Заключение

Рынок крафтового пива развивается во многих странах и Республике Беларусь в том числе, подтверждением является проведенный анализ научных публикаций. Крафтовые пивоварни ищут инновационные решения для получения продукции более высокого качества, отвечающей требованиям потребителей. Процессы пивоварения, такие как затирание, кипячение, ферментация, созревание и хранение, могут повлиять на ценные соединения, особенно на содержание фенолов. Следовательно, будущие исследования должны определить новые методы защиты уровня биологически активных соединений в специальном крафтовом пиве и повышения биодоступности, а также оптимизации органолептических и технологических показателей. Вопросы безопасности пива посвящены несколько научных исследований, которые сосредоточены в основном на возможных рисках для здоровья, связанных с ростом микробов и/или биосинтезом, присутствием токсичных химических соединений. На самом деле разнообразие микроорганизмов, способных размножаться в готовом пиве, ограничено из-за низкого содержания питательных веществ, низкого рН и присутствия алкоголя и хмеля. Более того, большинство этих микроорганизмов не влияют на безопасность продукции, а оказывают влияние на качество, придавая посторонние привкусы или мутность. Что касается конкретно крафтового пива, следует отметить, уче-

ные исследовали наличие и концентрацию потенциально токсичных карбонильных соединений и производных фурана на различных этапах крафтового пивоварения. Ацетальдегид, акролеин, формальдегид и фурфуроловый спирт были обнаружены на всех этапах производства эля и лагерного крафтового пива, в то время как концентрации этилкарбамаата и фурфуrolа были ниже пределов обнаружения. Было обнаружено, что в процессе кипячения происходит увеличение содержания фурфуролового спирта, в то время как пастеризация и созревание снижают уровни этого соединения в обоих типах пива. В крафтовом пиве на основе эля образование ацетальдегида происходит на стадии ферментации, поскольку он является промежуточным звеном при образовании этанола из глюкозы. Что касается присутствия в крафтовом пиве биогенных аминов, путресцина, тирамина и гистамина, то они были также обнаружены, хотя в концентрациях ниже токсичных. Обнаружена отрицательная корреляция между рН и присутствием некоторых биогенных аминов. Что касается присутствия некоторых токсичных тяжелых металлов при производстве крафтового пива, то вода, солод, хмель и дрожжи обычно содержат очень низкие концентрации (мкг/л) Cr, Zn и Cu. Эти металлы в основном извлекаются из дробленого зерна, горячего осадка и дрожжей, и лишь ограниченные количества попадают в пиво. Возможно увеличение содержания данных элементов в процессе фильтрации в результате использования вспомогательных средств фильтрации, но без значительного воздействия на здоровье потребителей. С гигиенической точки зрения микробиологическое загрязнение может иметь большое значение между промышленным пивом и крафтовым пивом, особенно непастеризованным и нефильтрованным. Пиво может содержать микробные загрязнители из нескольких источников, от сырья и сосудов пивоваренного цеха (первичные загрязнители), тогда как вторичные загрязнители возникают во время розлива в бутылки, консервирования или розлива в кеги.

Следует особо отметить, что крафтовые пивоварни, в отличие от крупных промышленных предприятий, могут более гибко и оперативно реагировать на особые запросы потребителей из-за более низкой производственной мощности. Это объясняет разработку серии крафтовых сортов пива, демонстрирующих пользу для здоровья, таких как низкокалорийное, низкоуглеводное и уже упоминавшееся низкоалкогольное изотоническое пиво. Управление пищевыми рисками и их оценка основаны на научных

данных, поэтому, рассматривая публикации о наличии определенных загрязнителей в крафтовом пиве, можно сделать вывод, что ими пренебрегать нельзя. Все это указывает на необходимость специального регулирования и стандартизированных методов аналитического определения для всех идентифицированных загрязняющих веществ. С другой стороны, поскольку пиво считается неподходящей средой в основном для биологического роста и поскольку технологические параметры поддерживают биодетоксикацию, химическое загрязнение крафтового пива представляется наиболее опасным.

Список литературы

1. Бурак Л.Ч. Состояние и перспективы развития крафтового пива (обзор) // The Scientific Heritage. 2022. № 87–1 (87). С. 52–66.
2. Heyder M., Theuvsen L. Strategic management in the German brewing industry: Are there still differences between East and West. Journal for East European Management Studies. 2018. Vol. 13. P. 10–39.
3. Estela Escalante W.D. Perspectives and uses of non *Saccharomyces* yeasts in fermented beverages. *IntechOpen*. 2018. DOI: 10.5772/INTECHOPEN.81868.
4. Morata A., Loira I., Tesfaye W., Bañuelos M.A., González C., Suárez Lepe J.A. *Lachancea thermotolerans* Applications in Wine Technology. Fermentation. 2018. Vol. 4. No. 3. P. 53. DOI: 10.3390/FERMENTATION4030053.
5. Vanderpoorten K. Microbial quality of barrel aged beers in the craft brewing industry (Master of Science Thesis). Retrieved from. 2018. [Электронный ресурс]. URL: https://lib.ugent.be/fulltxt/RUG01/002/482/227/RUG01-002482227_2018_0001_AC.pdf (дата обращения: 13.12.2022).
6. Ambra R., Pastore G., Lucchetti S. The Role of Bioactive Phenolic Compounds on the Impact of Beer on Health. *Molecules*. 2021. Vol. 26. P. 486. DOI: 10.3390/MOLECULES26020486.
7. Eskola M. et al. Worldwide contamination of food-crops with mycotoxins: Validity of the widely cited 'FAO estimate' of 25%. Critical reviews in food science and nutrition. 2020. Vol. 60. No. 16. P. 2773–2789. DOI: 10.1080/10408398.2019.1658570.
8. Rodríguez-Saavedra M., de Llano D.G., Moreno-Arribas M.V. Beer spoilage lactic acid bacteria from craft brewery microbiota: Microbiological quality and food safety. Food Research International. 2020. Vol. 138. P. 109762. DOI: 10.1016/J.FOODRES.2020.109762.
9. Liu J. et al. Discovery and control of culturable and viable but non-culturable cells of a distinctive *Lactobacillus harbinensis* strain from spoiled beer. Scientific Reports. 2018. Vol. 8. No. 1. P. 1–10. DOI: 10.1038/s41598-018-28949-y.
10. Yu Z. et al. Beer spoilage characteristics of *Staphylococcus xylosum* newly isolated from craft beer and its potential to influence beer quality. Food science & nutrition. 2019. Vol. 7. No. 12. P. 3950–3957. DOI: 10.1002/fsn3.1256.
11. Asano S., Shimokawa M., Suzuki K. PCR analysis methods for detection and identification of beer-spoilage lactic acid bacteria. Lactic Acid Bacteria. Humana Press, New York, NY. 2019. Vol. 2. P. 95–107. DOI: 10.1007/978-1-4939-8907-2_9.
12. Gonzalez Viejo C., Fuentes S. Beer aroma and quality traits assessment using artificial intelligence. Fermentation. 2020. Vol. 6. No. 2. P. 56. DOI: 10.3390/fermentation6020056.
13. Rodman A.D., Gerogiorgis D.I. An investigation of initialisation strategies for dynamic temperature optimisation in beer fermentation. Computers & Chemical Engineering. 2019. Vol. 124. P. 43–61. DOI: 10.1016/j.compchemeng.2018.12.020.
14. Piacentini K.C. et al. Fungi and the natural occurrence of deoxynivalenol and fumonisins in malting barley (*Hordeum vulgare* L.). Food chemistry. 2015. Vol. 187. P. 204–209. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.04.101.
15. Pascari X. et al. Mycotoxins and beer. Impact of beer production process on mycotoxin contamination. A review. Food Research International. 2018. Vol. 103. P. 121–129. DOI: 10.1016/j.foodres.2017.07.038.
16. Oliveira P. et al. Lactic acid bacteria bioprotection applied to the malting process. Part II: Substrate impact and mycotoxin reduction. Food Control. 2015. Vol. 51. P. 444–452. DOI: 10.1016/j.foodcont.2014.11.011.
17. Postulkova M. et al. Suppression of fungal contamination by *Pythium oligandrum* during malting of barley. Journal of the Institute of Brewing. 2018. Vol. 124. No. 4. P. 336–340. DOI: 10.1002/jib.518.
18. Lorencová E. et al. Biogenic amines occurrence in beers produced in Czech microbreweries. Food Control. 2020. Vol. 117. P. 107335. DOI: 10.1016/j.foodcont.2020.107335.
19. Keşa A.L. et al. Strategies to improve the potential functionality of fruit-based fermented beverages. Plants. 2021. Vol. 10. No. 11. P. 2263. DOI: 10.3390/plants10112263.
20. Bergsveinson J., Pittet V., Ziola B. RT-qPCR analysis of putative beer-spoilage gene expression during growth of *Lactobacillus brevis* BSO 464 and *Pediococcus claussenii* ATCC BAA-344T in beer. Applied microbiology and biotechnology. 2012. Vol. 96. No. 2. P. 461–470. DOI: 10.1007/s00253-012-4334-3.
21. Geissler A.J. et al. Metabolic strategies of beer spoilage lactic acid bacteria in beer. International Journal of Food Microbiology. 2016. Vol. 216. P. 60–68. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2015.08.016.
22. Sakamoto K., Konings W.N. Beer spoilage bacteria and hop resistance. International journal of food microbiology. 2003. Vol. 89. No. 2. P. 105–124. DOI: 10.1016/S0168-1605(03)00153-3.
23. Wang W. et al. Hop resistance and beer-spoilage features of foodborne *Bacillus cereus* newly isolated from filtration-sterilized draft beer. Annals of Microbiology. 2017. Vol. 67. No. 1. P. 17–23. DOI: 10.1007/s13213-016-1232-4.
24. Sampaolesi S. et al. Potentiality of yeasts obtained as beer fermentation residue to be used as probiotics. Lwt. 2019. Vol. 113. P. 108251. DOI: 10.1016/j.lwt.2019.108251.
25. Turvey M.E. et al. Identification of beer spoilage microorganisms using the MALDI Biotyper platform. Applied microbiology and biotechnology. 2016. Vol. 100. No. 6. P. 2761–2773. DOI: 10.1007/s00253-016-7344-8.
26. Zhao X. et al. The use of chitoooligosaccharide in beer brewing for protection against beer-spoilage bacteria and its influence on beer performance. Biotechnology letters. 2016. Vol. 38. No. 4. P. 629–635. DOI: 10.1007/s10529-015-2013-z.
27. Riedl R. et al. Combined yeast biofilm screening-characterization and validation of yeast related biofilms in a brewing environment with combined cultivation and specific real-time PCR screening of selected indicator species. Journal of the American Society of Brewing Chemists. 2019. Vol. 77. No. 2. P. 99–112. DOI: 10.1080/03610470.2019.1579036.
28. Zendeboodi F. et al. Detection of Non-Alcoholic beer spoilage microorganisms at critical points of production by polymerase chain reaction. Biointerface Res. Appl. Chem. 2020. Vol. 11. P. 9658–9668. DOI: 10.33263/BRIAC112.96589668.
29. Wang Z. et al. Formation of viable, but putatively non-culturable (VPNC) cells of beer-spoilage lactobacilli growing in biofilms. LWT. 2020. Vol. 133. P. 109964. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109964.
30. Krogerus K. et al. Repurposing brewery contaminant yeast as production strains for low-alcohol beer fermentation. Yeast. 2022. Vol. 39. P. 156–169. DOI: 10.1002/yea.3674.
31. Michel M. et al. Optimisation of yeast vitality measurement to better predict fermentation performance. Journal of the Institute of Brewing. 2020. Vol. 126. No. 2. P. 161–167. DOI: 10.1002/jib.604.

32. Guido L.F. et al. The impact of the physiological condition of the pitching yeast on beer flavour stability: an industrial approach. *Food Chemistry*. 2004. Vol. 87. No. 2. P. 187–193. DOI: 10.1016/j.foodchem.2003.10.033.
33. Powell C.D., Diacetis A.N. Long term serial repitching and the genetic and phenotypic stability of brewer's yeast. *Journal of the Institute of Brewing*. 2007. Vol. 113. No 1. P. 67–74. DOI: 10.1002/j.2050-0416.2007.tb00258.x.
34. Djoulde D.R. Deoxynivalenol (DON) and fumonisins B1 (FB1) in artisanal Sorghum opaque beer brewed in north Cameroon. *African Journal of Microbiology Research*. 2011. Vol. 5. No. 12. P. 1565–1567. DOI: 10.5897/AJMR10.709.
35. Rodhouse L., Carbonero F. Overview of craft brewing specificities and potentially associated microbiota. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2019. Vol. 59. No. 3. P. 462–473. DOI: 10.1080/10408398.2017.1378616.
36. Bauer J.I. et al. Investigations on the occurrence of mycotoxins in beer. *Food Control*. 2016. Vol. 63. P. 135–139. DOI: 10.1016/j.foodcont.2015.11.040.
37. Piacentini K.C. et al. Mycotoxin analysis of industrial beers from Brazil: The influence of fumonisin B1 and deoxynivalenol in beer quality. *Food chemistry*. 2017. Vol. 218. P. 64–69. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.09.062.
38. Tian Y. et al. Elimination of Fusarium mycotoxin deoxynivalenol (DON) via microbial and enzymatic strategies: Current status and future perspectives. *Trends in Food Science & Technology*. 2022. Vol. 124. P. 96–107. DOI: 10.1016/j.tifs.2022.04.002.
39. Bertuzzi T. et al. Known and emerging mycotoxins in small-and large-scale brewed beer. *Beverages*. 2018. Vol. 4. No. 2. P. 46. DOI: 10.3390/beverages4020046.
40. Mastanjević K. et al. From malt to wheat beer: A comprehensive multi-toxin screening, transfer assessment and its influence on basic fermentation parameters. *Food Chemistry*. 2018. Vol. 254. P. 115–121. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.02.005.
41. Wall-Martínez H.A. et al. Frequency and levels of mycotoxins in beer from the Mexican market and exposure estimate for deoxynivalenol mycotoxins. *Mycotoxin research*. 2019. Vol. 35. No. 2. P. 207–216. DOI: 10.1007/s12550-019-00347-x.
42. Eticha T., Hymete A. Health risk assessment of heavy metals in locally produced beer to the population in Ethiopia. *Journal of Bioanalysis & Biomedicine*. 2014. Vol. 6. No. 6. P. 65. DOI: 10.4172/1948-593X.1000114.
43. Singh K. et al. HACCP Implementantation on beer production from barley. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2018. Vol. 7. No. 5S. P. 140–145.
44. Onescu N. Applications of quality management systems in beer production enterprises. 2020. Vol. 3. No. 4. P. 49–53. DOI: 10.5281/zenodo.4296323.

СТАТЬИ

УДК 595.132:581.526.534(575.1)

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВИДОВ НЕМАТОДОФАУНЫ ТОМАТА ПО БИОТОПАМ (САМАРКАНДСКАЯ ОБЛАСТЬ, УЗБЕКИСТАН)**Мирзаев У.Н.***Самаркандский государственный университет, Самарканд, e-mail: uktam1486@gmail.com*

В данной статье представлены сведения о распределении нематод различных экологических групп по биотопам нематодофауны томата в агроценозах Самаркандской области (Узбекистан). Сбор проб почвы вокруг томата и его корневой системы проводился с мая по октябрь в 2019–2022 гг. маршрутным методом. Для этого были отобраны поля в трех хозяйствах Пайарыкского, Джамбайского и Акдарьинского районов области. Нами систематически изучена нематодофауна томатов, которая насчитывала 87 видов, представителей 7 отрядов. Среди них преобладают отряды *Tylenchida*, *Rhabditida* и *Dorylaimida*. В зависимости от типа питания и взаимоотношений с растением обнаруженные нематоды подразделены на 6 больших и 8 малых экологических групп. Анализируя распределение нематод по биотопам, установлено, что уровень распространения видов зависит от их экологических особенностей, в частности от таких факторов, как способ питания и потребность во влаге. В надземной части томата истинных сапробионтов обнаружено немного, а в корневой системе обнаружены эу-сапробионты и эндопаразиты, частично девисапробионты и микогельминты. В верхнем ризосферном слое почвы доминируют политрофы, бактериофаги, эндопаразиты, а в нижнем слое – эндопаразиты и эусапробионты.

Ключевые слова: нематоды, экологические группы, томат, биоразнообразие, политрофы, бактериофаги, эндопаразиты

DISTRIBUTION OF TOMATO NEMATODAFUNA SPECIES ALONG THE BIOTOPES (SAMARKAND REGION, UZBEKISTAN)**Mirzaev U.N.***Samarkand State University, Samarkand, e-mail: uktam1486@gmail.com*

This article presents information on the distribution of nematodes of various ecological groups by biotopes of tomato nematodafuna in agrocenoses of the Samarkand region (Uzbekistan). The collection of soil samples around the tomato and its root system was carried out from May to October in 2019–2022, by the route method. For this purpose, fields were selected in three farms of the Payaryk, Jambai and Akdarya districts of the region. We have systematically studied the nematodafuna of tomatoes, which numbered 87 species. Who are representatives of 7 orders. The orders *Tylenchida*, *Rhabditida* and *Dorylaimida* predominate among them. Depending on the type of nutrition and the relationship with the plant, the detected nematodes are divided into 6 large and 8 small ecological groups. Analyzing the distribution of nematodes by biotopes, it was found that the level of distribution of species depends on their ecological characteristics, in particular, on factors such as the way of nutrition and the need for moisture. There are few true saprobionts found in the aboveground part of the tomato, and eusaprobionts and endoparasites, partially devisaprobionts and mycohelminths, were found in the root system. The upper rhizosphere layer of the soil is dominated by polytroths, bacteriophages, endoparasites, and in the lower layer – endoparasites and eusaprobionts.

Keywords: nematodes, ecological groups, tomato, biodiversity, polytroths, bacteriophages, endoparasites

В настоящее время обеспечение населения планеты качественной и достаточной сельскохозяйственной продукцией является одним из наиболее актуальных вопросов. Рацион человека невозможно представить без овощных продуктов. Из года в год население нашей планеты увеличивается, вследствие этого возрастает необходимость выращивания этих продуктов в больших количествах. Помимо создания продуктивных сортов овощных культур такое же важное значение имеет защита выращиваемых овощей от вредителей. Паразитические нематоды занимают важное место среди вредителей сельскохозяйственной продукции, выращиваемой в агроценозах [1]. Оценка отрицательного воздействия этих вредителей на растения, анализ распространения видов нематод в биотопах при разработке мер борьбы с ними имеет большое научно-практическое значение.

В Центральной Азии в этом направлении проведен целый ряд исследований [2–4]. В Узбекистане исследования по данному направлению проведены Н. Хакимовым, О. Мавляновым, Н. Турдикуловой и У. Мирзаевым [5–7]. В Республике Узбекистан исследования по изучению нематодофауны овощных культур проводились в основном в Сурхандарьинской и Ташкентской областях [8]. Однако в других регионах республики, в том числе в Самаркандской области, научные исследования в этой области за последние 60 лет ведутся на ограниченных территориях [9].

На сегодняшний день во всем мире исследования по нематодофауне овощных культур в основном нацелены на разработку мер по борьбе с паразитическими видами [10–12].

Изучение нематодофауны агроценозов, анализ распределения видов по биотопам

и по экологическим показателям позволяет оценить современное состояние нематодофаун овощных культур, разработать профилактические меры борьбы с паразитическими видами. В связи с этим перед исследованием была поставлена цель определить систематический и экологический состав нематодофауны томата в агроценозах Самаркандской области, а также проанализировать ее распределение по биотопам.

Материалы и методы исследования

Для выделения фитонематод из исследуемого растения и прикорневой почвы пользовались модифицированным вороночным методом. Всего собрано свыше 5000 образцов. При определении видов использовали морфометрические измерения, рассчитанные по формуле de Man [13], а также атлас фитонематод, опубликованный Институтом паразитологии РАН.

Нематоды разделены на экологические группы по А. Парамонову [14], и была использована классификация, предложенная G.W. Yeates et al. [15]. Согласно этой экологической классификации все виды, встречающиеся в овощных культурах, по биоэкологическому родству с растением, типу питания и способу питания делятся на 6 больших и 8 малых экологических групп.

В процессе изучения нематодофауны томата, огурца и болгарского перца с овощных полей были собраны образцы наземных частей вегетативных органов, корневой системы, а также образцы прикорневой почвы (ризосфера) данных растений, взятых на глубине до 20 см. Обнаруженные в образцах все 87 видов нематод были индивидуально проанализированы, а также был проведен анализ известных экологических групп по их распространению в биотопах, способам питания и взаимоотношению с растениями. В результате исследований обнаружены 87 видов нематод были проанализированы и разделены на 6 экологических групп. Эти группы, в свою очередь, были подразделены на 8 малых подгрупп.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате исследований в нематодофауне томата зарегистрировано 87 видов нематод. Установлено, что распределение фитонематод в органах томата и его ризосферных слоях неравномерно. Например, если в надземной части томата было обнаружено 246 особей, принадлежащих к 18 видам, то в корне – 38 видов и 815 особей. Верхний слой ризосферы томата на глу-

бине 0–10 см характеризуется относительным видовым разнообразием. В этом слое ризосферы обнаружено 82 вида. Верхний слой, особенно по количеству особей нематод, резко отличается от нижнего слоя. В нем зарегистрировано 2580 особей нематод, то есть почти в 1,6 раза больше по сравнению с нижним слоем. В нижнем слое на глубине 10–20 см выявлено 78 видов и 1746 особей. Высокая численность фитонематод в верхнем слое ризосферы может быть объяснена тем, что этот слой защищен от лучей солнца тенью ветвей растений, относительной влажностью почвы, более сильным развитием в этом слое корневой системы растений и относительно хорошей аэрацией почвы.

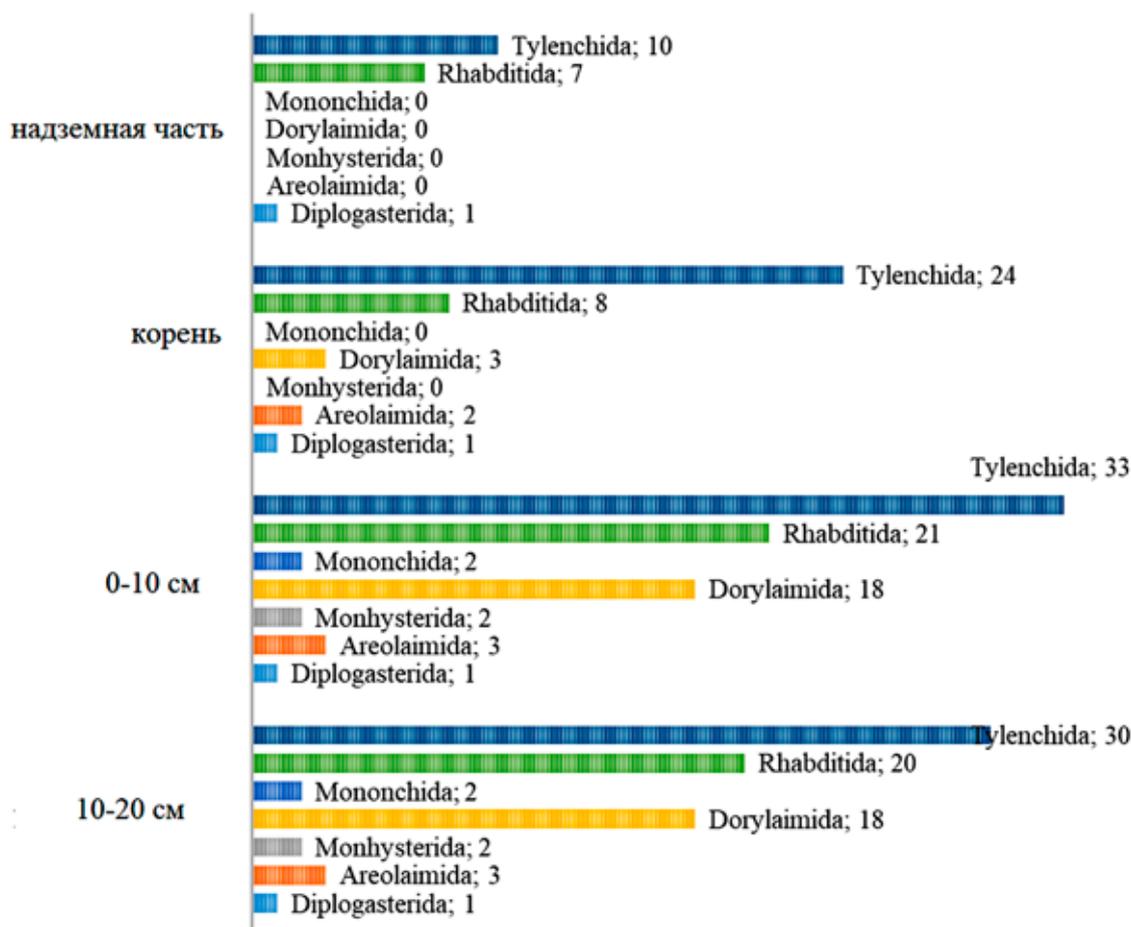
Виды, обнаруженные в томате и его ризосфере, являются представителями 7 отрядов. Среди них преобладает отряд *Tylenchida* с 38 видами, отряд *Rhabditida* с 21 видом и отряд *Dorylaimida* с 18 видами. Отряды *Diplogastrida*, *Monhysterida*, *Mononchida*, *Aræolaimida* включают от 1 до 4 видов.

В надземной части томата доминируют представители семейства *Rhabditidae* и *Cephalobidae* (отряд *Rhabditida*), в корне томата доминируют представители семейств *Rhabditidae* и *Cephalobidae* (отряд *Rhabditida*), *Aphelenchoididae*, *Tylenchidae*, *Pratylenchidae*, *Hoplolaimidae*, *Meloidogynidae* (отряд *Tylenchida*). В корне растения иногда встречаются виды, принадлежащие отряду *Dorylaimida*. Это состояние может быть связано со случайно прилипшими к корню частицами почвы (рисунок).

В начале наших исследований, проведенных в течение трех лет (2018–2020 гг.) в хозяйствах Самаркандской области, было установлено, что на полях томата была распространена южная нематода, относящаяся к роду *Meloidogyne* – *M. incognita*, и яванская нематода *M. javanica*. В ходе наших дальнейших исследований, проведенных в 2022 г., нами установлено, что в данных агроценозах также распространена арахисовая нематода

M. renaria (Neal, 1889) Chitwood, 1949).

1. Южная галловая нематода – *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White, 1919) Chitwood, 1949. Длина самки 670–900 мкм, ширина 300–480 мкм; самца 1240–2020 мкм. Головная капсула высотой 2 мкм, шириной 4–5 мкм; передний конец не выступающий, гладкий. Дорсальный гортанный проток открывается в гортань на расстоянии 2–4 мкм от головки стилета. Кутикула хвостового рудимента не имеет точечной структуры. Анально-вульварная пластинка имеет овальную форму.



Распространение по биотопам видов нематодофауны томата

2. Яванская галловая нематода – *Meloidogyne javanica* (Treub, 1885) Chitwood, 1949. Длина тела самки 700–1300 мкм, ширина 311–581 мкм. Тело грушевидное, реже шаровидное с выступающей шейей. Задний конец тела плавно закруглен и немного удлинен. Головная капсула однокольцевая, высотой 14,4–16,8 мкм. Головка стилета яйцевидная, высотой 1,4–2,6 мкм, шириной 3,8–5,2 мкм. На исследуемой территории было отмечено сильное заражение томатов яванской галловой нематодой.

3. Арахисовая галловая нематода – *Meloidogyne arenaria* (Neal, 1889) Chitwood, 1949. Длина самки 678–1200 мкм, ширина 305–560 мкм. Длина шейки 102–215 мкм, ширина 68–82 мкм; стилет 14–16 мкм. Тело грушевидной формы. Кутикула слабо кольчатая. Внутренняя часть головы склеротизована. Кутикула головы состоит из двух колец. Дуга анально-вульварной пластинки низкая, с дорсальной стороны плоская и округлая.

При анализе состава фауны томата обнаружены нами виды галловых нематод

томата в условиях Самаркандской области принадлежали следующим экологическим группам: бактериотрофы, детритофаги, хищные нематоды, эузапробионты, политрофы, микогельминты, эктопаразитические фитонематоды и настоящие фитонематоды (таблица).

Средой обитания и широкого распространения первых трех экологических групп является почва вокруг корневой системы растений, которую принято называть ризосферой. В нематодофауне томата эти три группы нематод в общей сложности обнаружено 29 видов, они объединены в одну группу под общим названием паразитобионты, которых в зависимости от их основного питания в свою очередь удобно разделить на три группы.

Бактериотрофы включали 18 видов, принадлежащих 6 родам (*Dorylaimus*, *Eudorylaimus*, *Tylencholaimus*, *Alaimus*, *Diphtherophora* и *Tylenchus*). В корнях томата нами в большом количестве обнаружены особи таких бактериотрофов как *E. dogielli*, *E. monhystera*, *T. filiformis*.

Распределение нематод томата разных экологических групп по биотопам (количество видов/особей)

Экологические группы	Биотопы				Всего видов
	Надземная часть	Корневая система	глубина почвы 0–10 см	глубина почвы 10–20 см	
Бактериотрофы	–	3/57	17/463	16/358	17
Детритофаги	–	0/0	3/87	4/100	4
Хищные нематоды	–	0/0	7/184	6/135	7
Эузапробионты	6/78	6/203	6/305	7/231	7
Политрофы	2/28	4/85	17/610	16/408	17
Микогельминты	4/71	8/150	12/326	11/208	12
Эктопаразиты	0/0	5/67	10/267	10/162	10
Эндопаразиты	6/69	*12/253	*12/338	*11/144	13
Всего	18/246	38/815	85/2580	81/1746	87/5387

* Численность особей галловых нематод среди эндопаразитов не учитывали.

Детритофаги – в нематодофауне томата к ним относятся 4 вида, которые принадлежат родам *Monhystera* и *Rhabdolaimus*, их питание осуществляется за счет разлагающихся на дне водоемов остатков растений (детрита). В нашем материале в вегетативных органах томата виды данной группы не были зафиксированы.

Параризобионты, обнаруженные в томате, представлены 7 видами, которые относятся к родам *Mylonchulus*, *Mononchus*, *Clarcus*, *Mesodorylaimus* и *Nygolaimus*. Обнаруженные нами нематоды крупные, с довольно толстым телом и у большинства из них в ротовой полости имеется зрелая (твердая) капсула. Однако хищные нематоды, которые находятся в основном в ризосфере, в томатах исследуемого региона нами не были обнаружены.

Эузапробионты в нашем материале представлены видами *Pelodera*, *Rhabditis*, *Diploscapter* и *Diplogaster*. В результате исследований установлено, что большое количество особей родов *Rhabditis*, *Mesorhabditis*, *Diploscapter* и *Diplogaster* встречаются во всех слоях прикорневой почвы, а также в вегетативных органах растений. Скопление эузапробионтов в вегетативных органах свидетельствует о том, что где-то в корневой системе растения идет процесс повреждения и гниения.

Нематоды политрофы представлены 17 видами, среди которых такие виды, как *P. cirratus*, *P. rigidus*, *H. elongatus*, *Ch. lentus*, *A. bütschli*, *C. insubricus*, называются также фитофагами.

Микогельминты томата представлены 12 видами. В составе нематодофауны количество особей таких видов микогельмин-

тов, как *P. pseudoparietinus*, *Aph. parietinus*, *Aph. subparietinus*, *Aph. zeravschanicus*, *S. demani* и др., составляли большинство, а особи видов *Aph. saprophilus*, *Aph. limberi*, *Aph. subtenuis*, *Aph. helophilus* представлены в малом количестве.

Эктопаразиты в нематодофауне томата представлены 10 видами. Их распространение по биотопам неравномерное. Большинство видов и особей были отмечены в ризосфере томата. Однако большая часть особей нематоды *A. agricola* располагалась в ризосферной почве, но вместе с тем небольшое их количество отмечено также в корневой и надземной частях растения. Аналогичная ситуация наблюдалась у видов рода *Helicotylenchus*.

Эндопаразиты среди паразитических фитонематод включали 13 видов (*T. davaini*, *D. destructor*, *D. dipsaci*, *D. pumilus*, *N. abulbosus*, *N. acris*, *P. pratensis*, *P. thorne*, *P. tumidiceps*, *H. tylenchiformis*, *M. arenaria*, *M. incognita*, *M. javanica*).

В свою очередь, эндопаразитических фитонематод также можно разделить на мигрирующие и оседлые группы. Среди мигрирующих эндопаразитов виды *D. destructor*, *D. dipsaci*, *Pratylenchus pratensis* многим известны как опасные паразиты. Однако большой вред овощным культурам, в том числе томату, наносят малоподвижные нематоды семейства Meloidogynidae.

Установлено, что в некоторых хозяйствах уровень пораженности томатных полей составляет 40–50 %. Кроме этих эндопаразитов, в качестве опасных паразитов овощных культур особого внимания заслуживают такие виды, как картофельная стеблевая нематода, проникающий пратиленх.

При анализе распределения видов нематодофауны томата по биотопам наблюдалось некоторое разнообразие. Кроме этого, наблюдалось, что надземная часть растения не так богата фитонематодами по сравнению с его корневой системой и ризосферой. В этой части растения встречаются эузапробионты, питающиеся разлагающимися растительными остатками, микогельминты, питающиеся мицелием грибов, и мигрирующие эндопаразиты.

Среди эузапробионтов встречаются представители родов *Rhabditis* и *Mesorhabditis*, из микогельминтов *Aphelenchus* и *Aphelenchoides*, из эндопаразитов *Ditylenchus* и *Pratylenchus*. Отсутствие настоящих сапробионтов в надземной части томата можно объяснить отсутствием (или недостатком) источников сапробиотического гниения при дефиците влаги.

Корень томата является благоприятной средой для размножения и развития эузапробионтов и эндопаразитов, частично девисапробионтов и микогельминтов. Среди них большинство составляют среди эузапробионтов, виды *Rh. brevispina*, девисапробионтов – *M. monhystera*, *D. rhizophilus*, *E. striatus*, *H. elongatus*, микогельминтов – *Aph. avenae*, *Aph. parietinus*, *D. destructor*, *D. dipsaci*, *P. pratensis*. Кроме них, корень томата также является благоприятной средой для паразитирующих галловых нематод. Относительно способов питания эти экологические группы в отличие от других прямо или косвенно связаны с тканями зеленых растений.

В обоих слоях ризосферы встречаются представители всех экологических групп. В верхнем слое ризосферы доминируют политрофы, бактериофаги, эндопаразиты, а в нижнем слое – эндопаразиты и эузапробионты. Среди них доминантами являются виды *M. bastiani* (бактериофаги), *Rh. filiformis*, *Rh. filiformis*, *M. monhystera*, *D. rhizophilus* (эузапробионты), *H. elongatus*, *P. rigidus*, *D. rivalis* (девисапробионты), *A. agricola*, *Aph. subtenuis* (микофаги), *D. destructor*, *D. dipsaci*, *P. pratensis*, *P. thornei* (мигрирующие эндопаразиты).

В нижнем слое ризосферы отмечается значительное снижение численности практически всех экологических групп. В этом слое количественно доминируют виды *M. monhystera*, *Rh. filiformis*, *D. rhizophilus* (эузапробионты), *P. subelongatus*, *H. elongatus*, *D. rivalis* (девисапробионты), *A. agricola*, *Aph. bicaudatus* (микогельминты).

Заключение

В агроценозах Пайарыкского, Акдарьинского и Тайлякского районов Самаркандской области в нематодофауне томата

зарегистрированы нематоды, принадлежащие к 87 видам. Распределение фитонематод в органах растения томата и его ризосферных слоях было неравномерным. Верхний слой ризосферы томата на глубине 0–10 см отличается относительным видовым разнообразием. Установлено, что в верхнем слое почвы численность особой нематод больше по сравнению с нижним слоем. Среди отрядов доминирует отряд Tylenchida с 38 видами, отряд Rhabditida – 21 вид, отряд Dorylaimida – 18 видов. В состав нематодофауны томата входили представители 8 экологических групп нематод. В надземной части томата истинных сапробионтов обнаружено немного, а в корневой системе обнаружены эузапробионты и эндопаразиты, частично девисапробионты и микогельминты. В верхнем ризосферном слое почвы доминируют политрофы, бактериофаги, эндопаразиты, а в нижнем слое – эндопаразиты и эузапробионты.

Список литературы

1. Галаган Т.А., Белявская Л.О. Опасные нематоды для растениеводства Украины // Agro ONE. 2017. № 11. С. 333–338.
2. Tileubaeva Z., Avdeenko A., Avdeenko S., Stroiteleva N., Kondrashev S. Plant-parasitic nematodes affecting vegetable crops in greenhouses. Saudi J. Biol. Sci. 2021. Vol. 28. No. 9. P. 5428–5433. DOI: 10.1016/j.sjbs.2021.05.075.
3. Базарбеков К.У. Нематоды овощных культур севера, востока и юго-востока Казахстана и проблемы интегрированного управления популяциями дитиленхоз и мелойдогин. М., 2001. 270 с.
4. Джунусов К.К. Фитогельминты агроценозов Кыргызстана // Manas Journal of Agriculture and Life Science. 2015. Vol. 5. No. 1. С. 13–19.
5. Mirzaev U.N., Khakimov N.Kh., Narzullaev S.B., Khujamov Sh. Ecological characteristics of the species in the nematofauna of vegetable crops of Samarkand region. Models and methods for increasing the efficiency of innovative research: a collection scientific works of the International scientific-online conference (Berlin. 10 July, 2022.). Vol. 2. Is. 13: Berlin. 2022. P. 68–73.
6. Мирзаев У.Н., Хакимов Н.Х., Байсариева Ч.У. Анализ нематод, обнаруженных в почве томата и ее ризосфере // Безопасность пищевых продуктов: национальные и глобальные факторы: сборник материалов III Международной научно-практической конференции (Самарканд, 15–16 октября 2021 г.). Самарканд, 2021. С. 470–474.
7. Хакимов Н.Х., Мавлонов О., Турдикулова К. Фитонематоды овощных культур и их экологические особенности в условиях закрытого грунта. Актуальные проблемы биологии и ее преподавания: материалы научно-практической конференции Республики (Ташкент, 23–24 июня 2009 г.). Ташкент, 2009. С. 85–89.
8. Саидова Ш.О. Морфо-биологические особенности и хозяйственное значение нематод рода *Meloidogyne* (на примере Ташкентского оазиса): автореф. дис. ... докт. философии (PhD) по биол. наук. Ташкент, 2019. 43 с.
9. Хакимов Н.Х., Мавлонов О., Мирзаев У.Н. Паразитические фитонематоды овощных и бахчевых культур и их негативное влияние на продуктивность. Продовольственная безопасность: национальные и глобальные факторы: материалы международной научно-практической конференции (Самарканд, 15–16 октября 2021 г.). Самарканд, 2019. С. 63–66.

10. Жуманиёзова Д. Сравнительный анализ фауны и динамики нематод сельскохозяйственных культур предгорных районов Ташкентского оазиса: автореф. дис. ... докт. философии (PhD) по биол. наук. Ташкент, 2023. 48 с.
11. Dutta T. Effect of small lipophilic molecules in tomato and rice root exudates on the behaviour of *Meloidogyne incognita* and *M. graminicola*. *Nematology*. 2012. Vol. 14. No. 3. P. 309–320. DOI: 10.1163/156854111X612306.
12. Bakr R.A. Bionematicidal Potential of Some Incorporating Plants on *Meloidogyne javanica* Control on Tomato. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2018. Vol. 7. No. 5. P. 1457–1464. DOI: 10.20546/IJCMAS.2018.705.172.
13. Carneiro R.M.D.G., Lima F.S. de O., Correia V.R. Methods and Tools Currently Used for the Identification of Plant Parasitic Nematodes. 2017. DOI: 10.5772/INTECHOPEN.69403.
14. Парамонов А.А. Основы фитогельминтологии. Т. I. М.: Изд. АН СССР, 1962. 480 с.
15. Yeates G.W., Bongers T., Goede R.G., Freckman D.W., Georgieva S.S. Feeding habits in soil nematode in families and genera—an outline for soil ecologists. *Journal of Nematology*. 1993. Vol. 25. No. 3. P. 315–331.

УДК 581.5:581.92

ВИДЫ ЯДОВИТЫХ РАСТЕНИЙ В КАРЕЛИИ**Морозова К.В.***ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», Петрозаводск,
e-mail: mkv25@bk.ru*

В статье представлены результаты комплексного исследования видов ядовитых растений в Карелии. В регионе зарегистрировано 193 вида этой группы растений, которые относятся к отделам Lycopodiophyta, Equisetophyta, Polypodiophyta, Magnoliophyta. Наибольшая часть видов (184 вида) принадлежит отделу Magnoliophyta и классу Magnoliopsida (172 вида). Из жизненных форм преобладают травянистые растения (173 вида). Древесные растения представлены 23 видами. 91 вид широко распространен в Карелии, 80 видов являются редкими, 13 видов культивируемы. Среди видов местной флоры региона существенную долю (92 вида) насчитывают виды лесных, прибрежных и луговых сообществ. Из заносных в регион видов большинство (49 видов) составляют случайно заносные виды, встречающиеся во вторичных биотопах. 45 заносных видов ядовитых растений натурализовались в карельской флоре с постоянным естественным возобновлением. У большинства видов токсические вещества концентрируются как в надземной части (87 видов), так и во всех частях исследуемых растений (58 видов). Из токсических веществ в растениях Карелии преобладают алкалоиды, цианогенные гликозиды, сапонины. Ядовитые растения в Карелии используются как лекарственные, пищевые, декоративные.

Ключевые слова: ядовитые растения, Карелия, распространение, местообитание, ядовитые органы, токсические вещества

SPECIES OF POISONOUS PLANTS IN KARELIA**Morozova K.V.***Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, e-mail: mkv25@bk.ru*

The results of the comprehensive study of poisonous plants in Karelia are presented. Totally 193 species of this group of plants are registered in the Region. These species belong to the Lycopodiophyta, Equisetophyta, Polypodiophyta, Magnoliophyta. The main part of species (184) belongs to the Magnoliophyta and the Magnoliopsida (172 species). Herbaceous plants (173 species) prevail among life forms. Woody plants are presented by 23 species. 91 species are widespread in the Karelia, 80 are rare species, 13 cultivated species. Poisonous plants of forest, coastal and meadow communities represent a significant proportion (92 species) among species of local flora. Among the species introduced to the Region, most are accidentally introduced species inhabiting settlements (49 species). 45 introduced species of poisonous plants have naturalized in the Karelian flora with permanent natural regeneration. Mostly toxic substances are concentrated both in the aboveground part (87) and in all parts of the studied plants (58 species). The alkaloids, cyanogenic glycosides and saponins predominate among toxic substances in Karelian plants. Species of poisonous plants in Karelia are used as medicinal, food and ornamental plants.

Keywords: poisonous plants, Karelia, distribution, habitat, poisonous organs, toxic substances

Исследование ядовитых растений представляет большой научный интерес для понимания эволюции живой природы. Токсическая защита является главнейшей среди оборонительных стратегий растений. Горький вкус, резкий неприятный запах, повышенное содержание гликозидов, алкалоидов, эфирных масел, танинов, смол, кислот, оксалатов и других ядовитых, едких или вяжущих веществ – основные средства борьбы за самосохранение у растений [1]. В растительном мире синтезируется большое количество токсических веществ, многие из них являются биологически активными веществами, обладающими разным терапевтическим действием, поэтому некоторые виды растений, содержащие их, применяются в научной медицине. Кроме того, часть видов этой группы растений обладает высокой декоративностью и используется для озеленения населенных мест, для оформления интерьеров. В этой связи изучение ядовитых растений имеет

и практическое значение для профилактики и лечения отравлений. Цель исследования – выполнить комплексный анализ видов ядовитых растений, встречающихся на территории Карелии.

Материалы и методы исследования

Флора Карелии насчитывает более 1850 видов сосудистых растений [2, 3], из них 193 вида содержат известные ядовитые для животного организма вещества. Включение определенного вида растений в группу ядовитых проведено согласно сводкам И.А. Гусынина [4], Т.Е. Буровой [5], Н.В. Симоновой с соавт. [6], Е.Г. Приваловой, В.И. Минович [7], Д.Б. Гелашвили с соавт. [1]. К ядовитым видам относятся виды, которые накапливают природные соединения, обладающие ядовитыми или токсичными для человека и животных свойствами. Такие свойства проявляются при непосредственном контакте с растением, при попадании его частей в организм, при вдыхании

ядовитых выделений. Распространение видов на территории Карелии приведено по А.В. Кравченко [2], древесных видов – интродуцентов в регионе по А.С. Лантратовой с соавт. [8].

Результаты исследования и их обсуждение

Виды ядовитых растений, встречающиеся на территории Карелии, относятся к 4 отделам и 5 классам (таблица). Отдел Magnoliophyta включает 2 класса и наибольшее число семейств (38), родов (88) и видов (184), особенно класс Magnoliopsida.

В отделе Lycopodiophyta зарегистрировано 4 вида, из них *Huperzia selago* (L.) Bernh. Ex Schrank et Mart принадлежит семейству Huperziaceae, а *Diphasiastrum complanatum* (L.) Holub, *Lycopodium annotinum* L., *L. clavatum* L. – семейству Lycopodiaceae. Виды *Equisetum arvense* L., *E. fluviatile* L., *E. palustre* L. из семейства Equisetaceae отмечены в отделе Equisetophyta. В отделе Polypodiophyta 2 семейства Polypodiaceae и Athyriaceae содержат по 1 виду – *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott и *Athyrium filix-femina* (L.) Roth соответственно.

В спектре жизненных форм в группе ядовитых растений региона преобладают многолетние травы (124 вида), малолетними (однолетними и (или) двулетними) травами являются 49 видов. Виды *Heraclium sibiricum* L., *H. sosnowskyi* Manden., *Ranunculus polyanthemos* L. могут иметь двулетний или многолетний жизненный цикл, *Galeopsis speciosa* Mill. – однолетний или многолетний цикл. Вид *Vinca minor* L. растет в форме полукустарничка, *Solanum dulcamara* L. – полукустарника, *Andromeda polifolia* L. и *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench. – кустарничков, *Euonymus verrucosus* Scop., *Daphne mezereum* L., *Lonicera tatarica* L., *L. xylosteum* L. – кустарников, *Aesculus hippocastanum* L. – дерева. В форме кустарничка или кустарника встречается *Ledum palustre* L., кустарника или дерева – *Euonymus europaeus* L., *Frangula alnus* Mill., *Padus avi-*

um Mill., *Rhamnus cathartica* L., *Sambucus racemosa* L.

На всей территории Карелии произрастает 91 вид, при этом у 38 видов отмечено существенное снижение встречаемости в северной части, в частности у *Barbarea stricta* Andrz., *Convallaria majalis* L., *Hypericum perforatum* L., *Linaria vulgaris* Mill., *Rorippa palustris* (L.) Bess. и у других. Из обычных видов региона, которые относятся к ядовитым растениям, можно, например, отметить *Caltha palustris* L., *Ledum palustre*, *Melampyrum sylvaticum* L., *Ranunculus acris* L., *Solidago virgaurea* L., *Trollius europaeus* L., *Urtica dioica* L. Только в южной части зарегистрированы места обитания *Cardamine amara* L., *Galeopsis tetrahit* L., *Impatiens glandulifera* Royle, *Melampyrum nemorosum* L., *Rumex tenuifolius* (Wallr.) A. Löve. Обычно в северной части и редко в южной части региона встречаются *Lathyrus aleuticus* (Greene) Pobed. и *Cerastium scandicum* (H. Gartner) Kuzen. Существенную долю (80 видов) составляют редкие для карельской флоры виды. К ним относятся *Actaea erythrocarpa* Fisch., *Anemonoides ranunculooides* (L.) Holub, *Conium maculatum* L., *Hyoscyamus niger* L., *Lepidium sativum* L., *Melilotus albus* Medik., *Ranunculus flammula* L., *Sisymbrium altissimum* L. и др. На территории Карелии 13 видов растений, содержащих ядовитые для человека вещества, выращиваются в культуре как декоративные (*Aesculus hippocastanum*, *Colchicum speciosum* Stev., *Digitalis grandiflora* Mill., *D. purpurea* L., *Euonymus europaeus*, *E. verrucosus*, *Inula helenium* L., *Lolium perenne* L., *Vinca minor*) и пищевые (*Lycopersicon esculentum* Mill., *Rhamnus cathartica*, *Raphanus sativus* L., *Solanum tuberosum* L.).

Большинство видов местной флоры растут в разных типах растительных сообществ, поэтому данные виды по преимущественному предпочтению тех или иных местообитаний объединены в эколого-ценоотические группы – лесная, луговая, болотная, прибрежная, водная, скальная, тундровая, сорная.

Таксономическая характеристика ядовитых растений Карелии

Отдел	Класс	Семейство	Род	Вид
Lycopodiophyta	Lycopodiopsida	2	3	4
Equisetophyta	Equisetopsida	1	1	3
Polypodiophyta	Polypodiopsida	2	2	2
Magnoliophyta	Magnoliopsida	32	78	172
	Liliopsida	6	10	12

Группа лесных видов включает 38 видов (*Aconitum septentrionale* Kölle, *Anemonoides nemorosa* (L.) Holub, *Convallaria majalis*, *Daphne mezereum*, *Frangula alnus*, *Huperzia selago*, *Lycopodium annotinum*, *Oxalis acetosella* L., *Solidago virgaurea* и др.). В заболоченных лесах и на облесенных болотах широко распространен *Ledum palustre*. Вид *Melampyrum sylvaticum* расселяется в лесных и луговых сообществах, а *Ranunculus fallax* (Wimm. et Grab.) Schur s. l. – в травяных лесах по берегам и на сырых зарастающих лугах. В лесных и луговых сообществах, а также в сообществах болот зарегистрированы *Athyrium filix-femina*, *Melampyrum pratense* L., *Milium effusum*, *Ranunculus auricomus* L. s. l., *Trollius europaeus*.

Луговые ядовитые растения представлены 22 видами. Большинство лугов на территории Карелии вторичного происхождения и сформировались на месте расчисток леса, заброшенных пашен, осушения болот. Первичными лугами являются луга в поймах некоторых рек и приморские луга на побережье Белого моря [2]. В луговых сообществах выявлены *Ranunculus lingua* L., *Thalictrum kemense* (Fries) Koch., *T. rariflorum* Fries, *T. simplex* L. и др. Вид *Veratrum lobelianum* Bernh. встречается как на лугах, так и на скалах и во влажных лесах, а *Thalictrum lucidum* L. – в лесах по берегам. Вид *Ranunculus polyanthemus* растет не только на лугах и скалах, а также селится на лесных опушках и полянах. На приморских и пойменных лугах, болотах, берегах зарегистрирована *Lathyrus palustris* L. Значительную часть (14 видов) этой эколого-ценотической группы составляют виды, распространенные и в рудеральных сообществах населенных пунктов (*Delphinium elatum* L., *Heracleum sibiricum*, *Galeopsis bifida* Voenn. и др.). Кроме того, из этих видов на берега водоемов заходят *Linaria vulgaris*, *Ranunculus flammula*, *Rhinanthus minor* L., *Rumex acetosa* L., *Tanacetum vulgare* L., во влажные леса и на болота – *Ranunculus repens*, *R. acris*, в травяные еловые леса – *Lathyrus pratensis* L.

Группа болотных растений насчитывает 10 видов, среди них *Cardamine amara*, *C. nymanii* Gand., *Rumex fontanopaludosus* A. Kalela – растения ключевых участков болот. Вид *Rumex fontanopaludosus* также встречается в заболоченных лесах и на пойменных лугах, а *Cardamine amara* – в травяно-болотных лесах и по берегам. В лесах расселился еще один вид этой группы *Chamaedaphne calyculata*. Виды *Cicuta virosa* L., *Equisetum palustre* обитают и по берегам водоемов. Виды *Andromeda polifolia*, *Caltha palustris*, *Equisetum fluviatile* произрастают как на бо-

лотах, так и в заболоченных лесах и на берегах. В растительных сообществах болот в южной части региона отмечен *Cardamine pratensis* L.

К группе прибрежных видов относится 32 вида. Так, по берегам водоемов встречаются *Cardamine parviflora* L., *Ranunculus reptabundus* Rupr., *Rumex graminifolius* Rudolph ex Lamb., *R. tenuifolius* и др. На мелководье выходят *Calla palustris* L., *Glyceria fluitans* (L.) R. Br., *G. maxima* (C. Hartm.) Holmb., *Ranunculus reptans* Rupr., *Rorippa amphibia* (L.) Bess. Некоторые прибрежные виды отмечены и в сообществах болот (*Cardamine dentata* Schult., *Triglochin maritima* L., *T. palustris* L., *Rumex aquaticus* L.), и в лесных сообществах (*Lathyrus maritimus* (L.) Bigel., *Solanum dulcamara*, *Scrophularia nodosa* L.), и в луговых сообществах (*Thalictrum flavum* L., *Ranunculus hyperboreus* Rottb., *Rumex hydrolapathum* Huds., *R. longifolius* DC., *R. pseudonatronatus* Borb. Группа водных видов представлена *Nuphar lutea* (L.) Smith и *Nymphaea candida* C. Presl et J. Presl. – обычными растениями рек и озер. В группу скальных видов включено 6 видов, из них на открытых скалах и в лесах на скальных выходах селятся *Hypericum perforatum* и *Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce. На открытых скалах также произрастают *Cerastium glabratum* C. Hartm. и *Sedum acre* L., который, кроме того, распространен на пляжах по берегам Белого моря, Онежского и Ладожского озер, на береговых склонах в поселениях и в других вторичных биотопах. Вид *Arabidopsis thaliana* (L.) Heunh. зарегистрирован на отвесных прибрежных скалах, береговых осыпях и в биотопах в поселениях. Вид *Ranunculus ponojensis* (Markl.) Ericss. принадлежит к тундровой группе, обнаружен на островах в Белом море. Сорная группа представлена *Urtica dioica*, часто произрастающей у жилья, как сорное растение на лугах, редко заходящей в леса.

На территории Карелии выявлен 81 заносной вид, в том числе значительную часть (49 видов) составляют случайно занесенные виды. Интродуцентами являются 13 видов, самостоятельно распространяются, преимущественно в биотопах населенных пунктов, 7 видов (*Amoria repens* (L.) C. Presl, *Glechoma hederacea* L., *Heracleum sosnowskyi*, *Impatiens parviflora* DC., *Senecio dubitabilis* C. Jeffrey et G.L. Chen, *S. viscosus* L., *S. vulgaris* L.). Виды *Aquilegia vulgaris* L., *Armoracia rusticana* Gaertn., Mey. et Scherb., *Chelidonium majus* L., *Euphorbia cyparissias* L., *Impatiens glandulifera*, *Lolium perenne*, *Lonicera tatarica*, *Lupinus polyphyllus* Lindl., *Lychnis chalconica* L., *Saponaria officinalis*

Л. как культивируются, так и случайно заносятся, расселяясь во вторичных местообитаниях в поселениях. Во флоре региона 45 заносных видов ядовитых растений натурализовались с постоянным естественным возобновлением, из них 39 видов расселяются только по измененным местам обитания (*Convolvulus arvensis* L., *Descurainia sophia* (L.) Webb. ex Prantl, *Fumaria officinalis* L., *Heracleum sosnowskyi*, *Melilotus officinalis* (L.) Pall., *Rumex crispus* L. *Sisymbrium loeselii* L. и др.) и 6 видов внедряются в естественные сообщества (*Aquilegia vulgaris*, *Amoria repens*, *Chelidonium majus*, *Glechoma hederacea*, *Impatiens parviflora*, *I. glandulifera*) [2, 3, 9, 10].

Растительные токсины концентрируются во всех частях растений или в отдельных органах. У большинства видов на территории Карелии фитотоксины накапливаются в надземной части растений (87 видов). У *Lycopersicon esculentum*, *Solanum dulcamara*, *S. nigrum* L., *S. tuberosum* ядовитостью особенно отличаются незрелые плоды, а у *S. tuberosum* и позеленевшие на свету клубни. Следует отметить, что у *Milium effusum* L., *Trifolium pratense* L., у видов родов *Amoria*, *Glyceria*, *Lathyrus*, *Triglochin*, *Vicia* ядовитые вещества синтезируются в начале вегетации для защиты молодых побегов от поедания животными. Летом, при интенсивном нарастании побегов, такой защиты растениям не требуется, и важные кормовые виды родов *Amoria* и *Lathyrus*, а также *Trifolium pratense* используются в сельском хозяйстве. У *Convallaria majalis*, *Daphne mezereum*, *Lonicera tatarica* L., *L. xylosteum* L., *Sambucus racemosa* токсичные вещества обнаружены только в листьях, цветках, плодах, а у *Daphne mezereum* также и в коре. У *Padus avium* они выявлены в цветках, незрелых плодах, у *Frangula alnus* – в коре, почках, листьях, плодах, семенах. Растительные токсины в соцветиях и семенах содержатся у *Galeopsis bifida*, *G. speciosa*, *G. tetrahit*, в плодах – *Aesculus hippocastanum*, *Lolium perenne*, *Rhamnus cathartica*. Ядовитостью только семян отличаются 33 вида (*Aquilegia vulgaris*, виды родов *Cerastium*, *Melampyrum*, *Rhinanthus*), в том числе 21 вид незрелыми семенами (*Armoracia rusticana*, *Berteroa incana* (L.) D.C., *Brassica campestris* L., *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., *Descurainia sophia*, *Thlaspi arvense* L., виды родов *Barbarea*, *Cardamine*, *Lepidium*, *Raphanus*). Существенную часть составляют виды, у которых токсические вещества концентрируются во всех частях растений (58 видов), причем у 12 видов особенно их много в подземных органах (*Cicuta virosa*, *Convolvulus arvensis*, *Euphorbia cyparissias*,

E. virgata Waldst. & Kit., *Saponaria officinalis*, *Trollius europaeus*, *Veratrum lobelianum*, виды рода *Senecio*), у *Conium maculatum* – в плодах, у *Lupinus polyphyllus* и *Scrophularia nodosa* – в семенах. У *Athyrium filix-femina* и *Dryopteris filix-mas* ядовитыми органами являются только корневища.

Токсические вещества растений относятся к разным группам химических соединений, из которых преобладают алкалоиды, в том числе и у видов растений на территории Карелии (46 видов). Это, например, у *Aquilegia vulgaris*, *Chelidonium majus*, *Conium maculatum*, *Equisetum palustre*, *Galeopsis speciosa*, *Hyoscyamus niger*, *Solanum tuberosum*, *Solidago virgaurea* и др. Большую группу (34 вида) составляют виды растений, содержащие в своих органах цианогенные гликозиды (*Amoria repens*, *Lathyrus pratensis*, *L. sylvestris*, *Melampyrum pratense*, *Padus avium*, *Rhinanthus aestivalis*, *Thalictrum simplex*, *Trifolium pratense*, *Vicia cracca* и др.). Несколько меньше по числу (30) группа видов, в растениях которых концентрируются эфирное масло и цианогенный гликозид синигрин (*Armoracia rusticana*, *Brassica campestris*, *Raphanus sativus*, *Rorippa amphibia*, *Sinapis arvensis*, *Thlaspi arvense* и др.). Виды *Artemisia absinthium*, *Asarum europaeum* L., *Glechoma hederacea*, *Inula helenium*, *Ledum palustre*, *Tanacetum vulgare* отличаются большим количеством эфирного масла. Гликозид ранункулин является токсическим веществом у растений 19 видов (*Anemonoides nemorosa*, *A. ranunculoides*, *Caltha palustris*, виды рода *Ranunculus*).

Группа видов, накапливающих в своих органах сапонины, насчитывает 22 вида (например, *Actaea spicata* L., *Calla palustris*, *Cerastium holosteoides* Fries, *Hylebia nemorum* (L.) Fourr., *Lychnis chalconica*, *Saponaria officinalis*, *Stellaria graminea* L., *S. holostea* L.). У *Scrophularia nodosa* и *Trollius europaeus* также содержится алкалоиды, у *Aesculus hippocastanum* – кумарины, которые выявлены и у *Daphne mezereum*, *Heracleum sibiricum*, *H. sosnowskyi*, *Melilotus albus*, *M. officinalis*. Сердечные гликозиды обнаружены у 10 видов – у *Erysimum cheiranthoides* L., *E. marschakianum* Andrz., *E. strictum*, *Euonymus europaeus*, *E. verrucosus*, при этом у *Convallaria majalis*, *Digitalis grandiflora*, *D. purpurea*, *Paris quadrifolia*, *Polygonatum odoratum* концентрируются как сердечные гликозиды, так и сапонины. Высоким содержанием солей щавелевой кислоты характеризуются вегетативные органы растений 17 видов – *Oxalis acetosella*, виды рода *Rumex*. К группе видов, синтезирующих в качестве фитотоксинов антраценпроизводные, относятся *Frangula*

alnus, *Hypericum maculatum*, *H. perforatum*, *Rhamnus cathartica*. Дитерпеноид андромедотоксин обнаружен у *Andromeda polifolia*, *Chamaedaphne calyculata*, *Ledum palustre*, тритерпеноиды – у *Euphorbia cyparissias*, *E. virgata*, цикутоксин – у *Cicuta virosa*. Некоторые виды отличаются сложным составом токсических веществ, в частности в стрекальных клетках жгучих волосков *Urtica dioica* и *U. urens* L. содержатся муравьиная кислота, гистамин, гликозид уртицин, ацетилхолин. В надземной части *Equisetum arvense* установлены тиаминазоподобные соединения, сапонины, флавоновые гликозиды, соли кремниевой кислоты, в подземной части *Dryopteris filix-mas* и *Athyrium filix-femina* – аспидиол, альбаспидин, филаксическая и флаваспидиновая кислоты.

Токсические вещества папоротников оказывают гепатотоксическое действие на желудочно-кишечный тракт. Тиаминазоподобные соединения хвоща под действием ферментов расщепляют витамин В₁ в организме животных и тем самым способствуют развитию авитаминоза. Ядовитые вещества крапивы вызывают сильное раздражение кожных покровов, сапонины, андромедотоксин и тритерпеноиды – слизистых внутренних органов желудочно-кишечного тракта. Алкалоиды в основном оказывают воздействие на центральную нервную систему человека и животных вплоть до судорог, паралича и остановки дыхания, обладают курареподобным действием. Соли щавелевой кислоты, цикутоксин, андромедотоксин также влияют на центральную нервную систему (судороги).

При гидролизе цианогенных гликозидов в животном организме образуется синильная кислота, которая блокирует клеточное дыхание, при гидролизе синигрина – высокотоксичные изотиоцианаты, способные превращаться в тиоцианаты, обуславливающие заболевания щитовидной железы, при гидролизе ранункулина – протоанемонин, обладающий местным раздражающим и некротическим действием. Эфирное масло вызывает аллергические реакции. Кумарины и антраценпроизводные повышают чувствительность кожных покровов к воздействию ультрафиолетового излучения. В токсических дозах сердечные гликозиды приводят к развитию аритмий и обладают способностью накапливаться в организме человека.

Заключение

Виды ядовитых растений составляют 10,4 % от общего числа видов флоры Карелии и относятся к отделам Lycopodiophyta, Equisetophyta, Polypodiophyta, Magnoliophy-

ta. Наибольшая часть видов (95,3 %) принадлежит отделу Magnoliophyta и классу Magnoliopsida (93,4 % от общего числа видов этого отдела). Из жизненных форм лидируют травянистые растения (92,3 %), особенно многолетние травы (69,6 %). На всей территории региона обитает 49,3 % видов, в южной части 2,6 % видов, редко встречается 41,4 % видов, культивируется 6,7 % видов. Среди видов местной флоры Карелии значительную часть составляют виды лесных, прибрежных и луговых сообществ. Из заносных на территорию региона видов большинство составляют случайно заносные виды, встречающиеся в основном во вторичных биотопах. Токсические вещества, среди которых преобладают алкалоиды, цианогенные гликозиды, сапонины, в большей степени концентрируются как в надземной части, так и во всех частях исследуемых растений. Виды ядовитых растений в Карелии используются как лекарственные растения в научной медицине, как пищевые и декоративные растения на приусадебных участках, а также для озеленения городов. В этой связи во избежание отравлений применение таких растений в лечебных целях необходимо только по рекомендации врача, в рекреационных целях требуют исключения из оформления детских площадок в городских парках и скверах, из озеленения участков у детских учреждений.

Список литературы

1. Гелашвили Д.Б., Широков А.И., Нижегородцев А.А., Маркелов И.Н. Ядовитые животные и растения России и сопредельных стран. Нижний Новгород: Издательство ННГУ, 2020. Т. 2. 547 с.
2. Кравченко А.В. Конспект флоры Карелии. Петрозаводск: Издательство КарНЦ РАН, 2007. 403 с.
3. Инвазивные растения и животные Карелии. Петрозаводск: ПИН Марков Н.А., 2021. 223 с.
4. Гусынин И.А. Токсикология ядовитых растений. М.: Сельхозиздат, 1962. 624 с.
5. Бурова Т.Е. Биологическая безопасность сырья и продуктов питания. Потенциально опасные вещества биологического происхождения. СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. 136 с.
6. Симонова Н.В., Доровских В.А., Анохина Р.А. Лекарственные растения Амурской области. Благовещенск: ГБОУ ВПО Амурская ГМА, 2016. 309 с.
7. Привалова Е.Г., Миревич В.И. Основы фитотоксикологии. Иркутск: ИГМУ, 2018. 96 с.
8. Лантратова А.С., Егличева А.В., Марковская Е.Ф. Древесные растения, интродуцированные в Карелии (история, современное состояние). Петрозаводск: Издательство ПетрГУ, 2007. 196 с.
9. Рохлова Е.Л., Антипина Г.С. Семенное размножение дичающих из культуры видов растений в условиях южной Карелии // Ученые записки ПетрГУ. 2014. № 2. С. 19–22.
10. Антипина Г.С., Маганов И.А., Платонова Е.А., Фалин А.Ю. Борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) в Ботаническом саду ПетрГУ // Hortus botanicus. 2017. Т. 12. С. 445–453. DOI: 10.15393/j4.art.2017.4842.

УДК 581.2

**ПАТОГЕННЫЕ МИКРОМИЦЕТЫ У ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ
СЕМЕЙСТВА SALICACEAE, ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ
В БОТАНИЧЕСКОМ САДУ ПЕТРА ВЕЛИКОГО**

¹Трофимова А.С., ¹Яндовка Л.Ф., ²Фирсов Г.А.

¹ФГБОУ ВО «Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена»,
Санкт-Петербург, e-mail: yandovkatgu@mail.ru;

²Ботанический институт им. В.Л. Комарова Российской академии наук,
Санкт-Петербург, e-mail: gennady_firsov@mail.ru

При интродукции оценка воздействия патогенов на растения особенно важна, поскольку существует риск заболеваний и гибели особи, особенно в условиях повышенной влажности, где активно развиваются фитопатогенные микромицеты. В работе представлена оценка степени поражения листьев у видов семейства Salicaceae (*Salix* L., *Chosenia* Nakai, *Toisusu* Trautv. et Mey.), интродуцированных в Ботаническом саду Петра Великого (г. Санкт-Петербург). Изучены листья 27 видов растений, относящихся к 3 родам и 24 видам семейства Salicaceae. Определен видовой состав патогенных микромицетов. Выявлено 15 видов грибов, вызывающих на листьях ивовых пятнистость (чаще), ржавчину, мучнистую росу и чернь. Большинство изученных видов Salicaceae имеют довольно высокий процент поражения листьев (64 %). Наиболее часто встречающиеся на растениях ивовых грибы – *Septoria didyma* Fuckel., выявлены на 10 видах растений, а также *Erysiphe adunca* (Wallr.) Fr. – обнаружены на 8 видах. Из всех изученных растений в условиях Санкт-Петербурга наименее повреждаются микромицетами виды-интродуценты *Salix integra* (♀) и *S. vinogradovii*, а также местный вид *S. pseudomedemii*, что говорит об их устойчивости к патогенным грибам.

Ключевые слова: Salicaceae, *Salix*, *Chosenia*, *Toisusu*, растения-интродуценты, патогенные микромицеты

**PATHOGENIC MICROMYCETES IN REPRESENTATIVES
OF THE SALICACEAE FAMILY INTRODUCED
IN THE PETER THE GREAT BOTANICAL GARDEN**

¹Trofimova A.S., ¹Yandovka L.F., ²Firsov G.A.

¹A.I. Herzen Russian State Pedagogical University, Saint Petersburg,
e-mail: yandovkatgu@mail.ru;

²V.L. Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg,
e-mail: gennady_firsov@mail.ru

During introduction, it is quite important to assess the impact of pathogens on plants, since there is a high risk of diseases and death of an individual, especially in conditions of high humidity, where phytopathogenic micromycetes are actively developing. The present study assesses the degree of leaf damage in representatives of the Salicaceae family (*Salix* L., *Chosenia* Nakai, *Toisusu* Trautv. et Mey.), introduced in the Botanical Garden of Peter the Great (St. Petersburg). The study was carried out on the leaves of 27 plants belonging to 3 genera and 24 species of the Salicaceae family. The species composition of pathogenic micromycetes has been determined. 15 species of pathogens have been identified that cause spotting on the leaves most often, as well as rust, powdery mildew and blackness. Most of the studied Salicaceae species have a fairly high percentage of leaf damage (64 %). The most common type of fungus is *Septoria didyma* Fuckel., affecting 10 species of plants, as well as *Erysiphe adunca* (Wallr.) Fr. – 8 species. The introduced species *Salix integra* (♀) and *S. vinogradovii* are the least damaged, as well as the local species *S. pseudomedemii*, which indicates their resistance to pathogenic fungi in the conditions of St. Petersburg.

Keywords: Salicaceae, *Salix*, *Chosenia*, *Toisusu*, introduced plants, pathogenic micromycetes

Семейство Salicaceae является довольно обширным, включает в себя 4 рода: *Salix*, *Chosenia*, *Populus*, *Toisusu*. Род *Salix* L. – один из наиболее крупных родов флоры России [1]. В коллекции Ботанического сада Петра Великого в Санкт-Петербурге (Сад) род *Salix* представлен 42 таксонами (в их числе 30 видов). В настоящее время коллекция представителей этого рода является самой богатой из отмеченных в истории Сада за три века интродукции ивовых. В северо-западном регионе из-за повышенной влажности на растениях довольно часто наблюдается развитие фитопатоген-

ных микромицетов, вызывающих грибные заболевания. Воздействие грибов пагубно влияет на растения: теряются декоративные качества, растения перестают нормально питаться, развиваться, что часто приводит к их гибели. Поэтому важно диагностировать патогенные микроорганизмы в условиях ботанического сада, чтобы избежать гибели растения и потери коллекции.

Изучением фитопатогенов у растений семейства Salicaceae занимались немногие исследователи. М. Томошевич и И. Воробьева [2] определили видовой состав микромицетов на листьях растений-интродуцен-

тов рода *Salix* в Сибири. Зарегистрировано более 70 видов патогенных микромицетов, наибольший удельный вес среди них занимают грибы, вызывающие пятнистости листьев (> 51 %), ржавчинные грибы (~34 %), мучнисто-росяные и прочие грибы (8 и 7 % соответственно). J. Arbetsson [3] отмечает, что наиболее часто на представителях рода *Salix* поселяется листовая ржавчина, вызываемая *Melampsora* spp. В исследовании Н. Колемасовой и др. [4] наибольшее количество грибов в садах и парках Санкт-Петербурга отмечено именно на видах рода *Salix* (12 видов). Изучением морфологии урединий и урединиоспор гриба *Melampsora larici-epitea* Kleb. на примере *Salix viminalis* L. в Польше занимался J. Ciszewska-Marciniak [5]. В Беларуси на *Salix caprea* были обнаружены 2 вида грибов, *Melampsora caprearum* и *Erysiphe adunca*, отмечено, что *Salix myrsinifolia* также поражается мучнистой росой [6]. В Сибири представители семейства Salicaceae также часто поражаются мучнистой росой (26 видов) и ржавчиной (8 видов) [7]. С. Bennett [8] проводил инокуляцию ржавчиной (род *Melampsora*) на десяти различных видах *Salix* Тихоокеанского северо-западного региона Соединенных Штатов Америки. Было обнаружено, что *Melampsora* способна поражать все виды *Salix*. Инокуляцией *Salix purpurea* уредоспорами изолята *Melapsora americana* занимался Wilkerson и др. [9]. Они идентифицировали два дифференциально экспрессируемых транскрипта *M. americana* и 124 гена *S. purpurea*, которые являются хорошими кандидатами для будущих исследований, чтобы подтвердить их роль в придании устойчивости растениям. *Salix babylonica* поражается грибом *Marssonina salicicola*. Это отмечает N. Anselmi в своей статье [10]. Таким образом, в условиях интродукции изучением видового состава микромицетов семейства Salicaceae занимались немногие, что и послужило основанием для проведения нами исследования.

Целью исследования было выявить виды семейства Salicaceae, менее всего поражающиеся грибными заболеваниями и, соответственно, наиболее приспособленные к климатическим условиям Санкт-Петербурга.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования послужили растения, относящиеся к 3 родам и 24 видам семейства Salicaceae из коллекции Ботанического сада Петра Великого Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН в Санкт-Петербурге. Пять видов являются растениями местной флоры: *Salix caprea*

L. – ива козья; *S. cinerea* L. – ива пепельная; *S. myrsinifolia* Salisb. – ива мирзинолистная; *S. phylicifolia* L. – ива филиколистная; *S. pseudomedemii* E. Wolf – ива ложномедемская. Остальные – интродуценты.

Видовой состав грибов уточнялся с помощью определителей Е. Благовещенской [11] и С. Ванина [12]. Степень поражения листьев определяли визуально. Микрофотографии сделаны с использованием биноклярной лупы (увеличение x10).

Результаты исследования и их обсуждение

Листья у исследуемых растений имеют довольно большой процент поражения. Всего собрано по 30 листьев с каждого растения. 100 % поражение листьев имеют следующие виды: *Salix caprea* (♀), *S. divaricata*, *S. phylicifolia*, *S. rhamnifolia* и *S. taraikensis*. Средняя степень поражения в пределах отдельной листовой пластинки у данных видов различается: *S. rhamnifolia* – 83,0 %, *S. caprea* (♀) – 62,3 %, *S. phylicifolia* – 58,5 %, *S. divaricata* – 47,0 %, *S. taraikensis* – 41,0 %. Наименьшее поражение листьев отмечено у *Salix integra* (♀) и *S. vinogradovii* – 13,3 % (табл. 1).

Листья исследуемых растений поражаются 15 видами патогенных грибов, из них 10 видов относятся к микромицетам, вызывающим пятнистость; 3 – ржавчину; 1 – мучнистую росу и 1 – чернь. Большинство видов поражаются грибом *Septoria didyma* Fuckel. (10 видов) и грибом *Erysiphe adunca* (Wallr.) Fr. (8 видов).

При поражениях грибами, вызывающими пятнистости, на листьях отмечается наличие пятен разных размеров, форм и окраски. Например, при поражении листьев грибом *Septoria didyma* Fuckel. образуются светло-коричневые пятна неправильной формы с темной каймой. Стилоспоры данного вида нитевидные, с одной перегородкой, на концах изогнутые. Морфология *Cercospora salicina* Ellis et Everh.: стилоспоры длинные, нитевидные, бесцветные, без перегородок, поражения на листьях в виде небольших черных пятен неправильной формы. *Septoria salicicola* Sacc.: стилоспоры нитевидные, бесцветные, с тремя перегородками, пятна на листьях небольшие, светлых тонов, с темной каймой. *Septoria salicina* Peck.: конидии узко-веретеновидные, бесцветные, с одной перегородкой, с не загнутыми концами, на листьях формируются бледные мелкие пятна с темной каймой. Конидии *Phyllosticta salicicola* Thum. продолговато-палочковидные, бесцветные.

Таблица 1

Степень поражения листьев грибными и бактериальными болезнями у видов семейства Salicaceae в г. Санкт-Петербурге (Ботанический сад Петра Великого)

Вид	% пораженных листьев	Степень поражения одного листа (X_{cp}) % ± m
<i>Chosenia arbutifolia</i>	53,3	4,8 ± 0,6
<i>Salix acutifolia</i>	26,7	9,3 ± 2,5
<i>S. alba f. vitellina pendula</i>	66,7	6,1 ± 1,4
<i>S. brachypoda</i>	40,0	13,7 ± 2,0
<i>S. caprea</i> (♀)	100,0	62,3 ± 7,5
<i>S. caprea</i> subsp. <i>hultenii</i> (♂)	66,7	13,2 ± 7,6
<i>S. cinerea</i>	73,3	29,5 ± 6,2
<i>S. divaricata</i>	100,0	47,0 ± 7,3
<i>S. fragilis</i>	86,7	26,9 ± 9,8
<i>S. gmelinii</i>	66,7	15,5 ± 5,7
<i>S. gracilistyla</i>	46,7	7,7 ± 3,2
<i>S. integra</i> (♂)	33,3	4,6 ± 0,4
<i>S. integra</i> (♀)	13,3	7,5 ± 3,5
<i>S. kangensis</i>	66,7	14,5 ± 3,7
<i>S. kochiana</i>	46,7	32,9 ± 6,0
<i>S. ledebouriana</i>	60,0	15,8 ± 5,6
<i>S. myrsinifolia</i>	33,3	8,2 ± 0,8
<i>S. nipponica</i>	53,3	7,9 ± 3,7
<i>S. phyllicifolia</i>	100,0	58,5 ± 10,2
<i>S. pseudomedemii</i>	86,7	6,8 ± 1,1
<i>S. purpurea</i> 'Gracilis'	33,3	25,4 ± 9,4
<i>S. rhamnifolia</i>	100,0	83,0 ± 6,4
<i>S. schwerinii</i>	93,3	5,1 ± 0,9
<i>S. taraikensis</i>	100,0	41,0 ± 7,3
<i>S. vinogradovii</i>	13,3	5,5 ± 3,5
<i>Toisusu cardiophylla</i> (♀)	86,7	16,5 ± 5,5
<i>T. cardiophylla</i> (♂)	80,0	24,4 ± 6,0

На листьях заболевание проявляется в виде небольших округлых светлых пятен с темно-бурым контуром. *Phyllosticta salicina* Kab. et Bubak. – конидии и пятна внешне сходны с *Phyllosticta salicicola*, отличие заключается в окраске пятен – они у *Phyllosticta salicina* серого цвета с темной каймой. *Monostichella salicis* (Westend.) Arx: конидии цилиндрические, бесцветные, слегка согнутые, без перегородок, на листьях образуются коричневые пятна неправильной формы. *Marssonina salicicola* (Bres.) P. Mgn. – вызывает бурю пятнистость ивы, которая проявляется в виде пятен неправильной формы. Конидии *Marssonina salicicola* бесцветные, двухклеточные, овальной формы. *Septo-*

ria salicis West.: стилоспоры бесцветные, длинные, нитевидные, без перегородок, на листьях образуются небольшие белые пятна. *Ascochyta salicicola* Pass.: конидии нитевидные, бесцветные, с одной перегородкой, а пикниды шаровидные с закругленным концом, пятна на листьях коричневые, с темной каймой.

Гриб *Melampsora epitea* Thum., вызывающий ржавчину, отмечен у 5 видов исследуемых растений. Летнее спороношение гриба – оранжево-желтые урединии образуются на верхней и нижней сторонах листовой пластинки. Формирующиеся далее в цикле развития этого гриба телиоспоры неправильно-округлой формы. У ржавчинного гриба *Melampsora laricis-pentandrae* Kleb.

оранжевые урединии расположены преимущественно на нижней стороне листа, телиоспоры булабовидной формы. У *Melampsora*

amygdalinae Kleb. урединии также на нижней стороне листа, а на верхней стороне листа видны бледные пятнышки.

Таблица 2

Патогенные микромицеты и поражающиеся ими растения семейства Salicaceae в г. Санкт-Петербурге (Ботанический сад Петра Великого)

Вид гриба	Поражающиеся грибом виды Salicaceae
Пятнистость листьев	
<i>Septoria didyma</i> Fuckel.	<i>Salix integra</i> (♂)
	<i>Chosenia arbutifolia</i>
	<i>Salix purpurea</i> 'Gracilis'
	<i>S. phylicifolia</i>
	<i>S. kangensis</i>
	<i>S. vinogradovii</i>
	<i>S. rhamnifolia</i>
	<i>S. gracilistyla</i>
	<i>S. nipponica</i>
	<i>Toisusu cardiophylla</i> (♂)
<i>Cercospora salicina</i> Ellis et Everh.	<i>Salix kochiana</i>
	<i>S. caprea</i> subsp. <i>hultenii</i> (♂)
	<i>Toisusu cardiophylla</i> (♀)
	<i>S. pseudomedemii</i>
<i>Septoria salicicola</i> Sacc.	<i>S. caprea</i> (♀)
	<i>S. gmelinii</i>
	<i>S. alba</i>
<i>Septoria salicina</i> Peck.	<i>S. schwerinii</i>
	<i>S. divaricata</i>
<i>Phyllosticta salicicola</i> Thum.	<i>Salix cinerea</i>
	<i>S. kangensis</i>
<i>Phyllosticta salicina</i> Kab. et Bubak.	<i>S. brachypoda</i>
<i>Monostichella salicis</i> (Westend.) Arx	<i>S. myrsinifolia</i>
<i>Marssonina salicicola</i> (Bres.) P. Mgn.	<i>S. integra</i> (♀)
<i>Septoria salicis</i> West.	<i>S. ledebouriana</i>
<i>Ascochyta salicicola</i> Pass.	<i>S. acutifolia</i>
Ржавчина	
<i>Melampsora epitea</i> Thum.	<i>Salix phylicifolia</i>
	<i>S. rhamnifolia</i>
	<i>S. purpurea</i> 'Gracilis'
	<i>S. divaricata</i>
	<i>S. acutifolia</i>
<i>Melampsora laricis-pentandrae</i> Kleb.	<i>S. fragilis</i>
<i>Melampsora amygdalinae</i> Kleb.	<i>S. myrsinifolia</i>
Мучнистая роса	
<i>Erysiphe adunca</i> (Wallr.) Fr.	<i>Chosenia arbutifolia</i>
	<i>Salix caprea</i> (♀)
	<i>S. acutifolia</i>
	<i>S. brachypoda</i>
	<i>S. cinerea</i>
	<i>S. phylicifolia</i>
	<i>S. rhamnifolia</i>
<i>Toisusu cardiophylla</i> (♂)	
Чернь	
<i>Leptoxyphium fumago</i> (Woron.) Crous.	<i>Salix taraikensis</i>

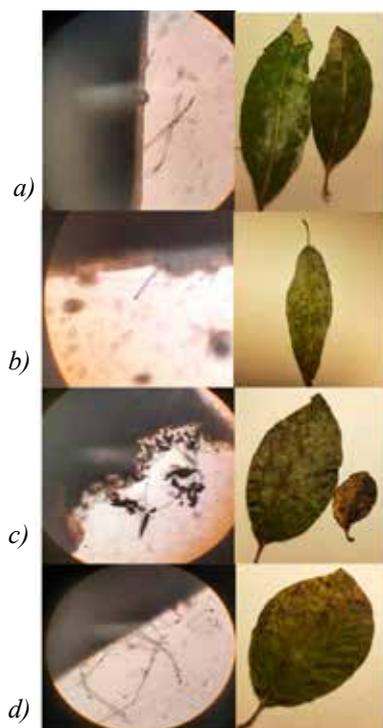


Рис. 1. Некоторые микромицеты семейства Salicaceae: а – *Septoria didyma* Fuckel. на *Chosenia arbutifolia*, б – *Erysiphe adunca* (Wallr.) Fr. на *Salix phylicifolia*, в – *Leptoxylum fumago* (Woron.) Crous. на *Salix taraikensis*, д – *Cercospora salicina* Ellis et Everh. на *S. caprea subsp. hulthenii* (♂)

Мучнистая роса вызывается у представителей семейства лишь одним видом

гриба – *Erysiphe adunca* (Wallr.) Fr. Поражение этим грибом было выявлено у 8 видов. Мицелий гриба поверхностный, поражение проявляется на листьях в виде мучнистого налета. Придатки клейстотециев только одного типа – нитевидной формы, не очень длинные, бесцветные, на концах загнуты крючком.

Сажистый грибок *Leptoxylum fumago* (Woron.) Crous. был выявлен только на листьях *Salix taraikensis*. Придатки многочисленные, бесцветные, с перегородкой и перетяжками. Заболевание проявляется в виде черного «сажистого» налета на поверхности листьев.

В табл. 2 показаны виды патогенных микромицетов, поражающих исследуемые растения. Внешний вид некоторых видов микромицетов и пораженных ими листьев представлен на рис. 1; на рис. 2 показана встречаемость данных патогенов на листьях ивовых.

Заключение

Наибольшая повреждаемость листовой пластинки грибными заболеваниями из всех изученных в г. Санкт-Петербурге (Ботанический сад Петра Великого) видов Salicaceae выявлена у аборигенных видов *Salix caprea* (♀), *S. phylicifolia* и видов-интродуцентов *S. divaricata*, *S. rhamnifolia* и *S. taraikensis*. Минимальное поражение листьев характерно для *Salix pseudomedemii* (местный вид), *Salix integra* (♀) и *S. vinogradovii* (интродуценты).

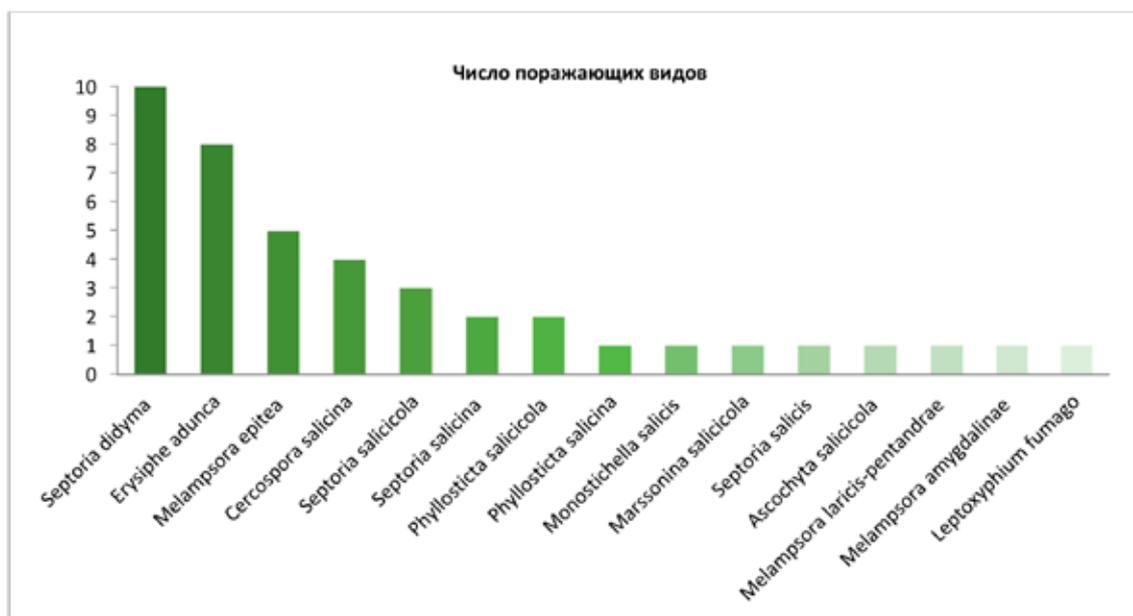


Рис. 2. Встречаемость фитопатогенных микромицетов на растениях семейства Salicaceae

На листьях растений Salicaceae патогенные микромицеты чаще всего вызывают пятнистость. Большинство видов поражаются грибом *Septoria didyma* Fuckel. (10 видов) и *Erysiphe adunca* (Wallr.) Fr. (8 видов). Также микромицеты вызывают на листьях исследуемых растений ржавчину, мучнистую росу и чернь. К патогенным грибам в условиях Санкт-Петербурга устойчивы такие виды-интродуценты, как *Salix vinoxradovii* и *S. integra* (♀ и ♂).

Список литературы

1. Скворцов А.К. Ивы СССР. М.: «Наука», 1968. 262 с.
2. Томошевич М.А., Воробьева И.Г. Патогенные микромицеты листьев растений-интродуцентов рода *Salix* (Salicaceae) в Сибири // Растительный мир Азиатской России. 2017. № 3 (27). DOI: 10.21782/RMAR1995-2449-2017-3(3-12).
3. Arbetsson J. Weed problems and possibilities for their control in *Salix* for biomass. Introductory Paper at the Faculty of Landscape Planning, Horticulture and Agricultural Science, Alnarp, October 2012. Swedish University of Agricultural Sciences. 2012. 31 p.
4. Колемасова Н.Н., Ковалевская Н.В. Грибные болезни листьев деревьев и кустарников в садах и парках Санкт-Петербурга // Лесной вестник. 2000. № 6.; URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gribnye-bolezni-listiev-dereviev-i-kustarnikov-v-sadah-i-parkah-sankt-peterburga/viewer> (дата обращения: 20.09.2022).
5. Ciszewska-Marciniak J., Jędryczka M., Jeżowski S., Przyborowski J., Wojciechowicz K., Zenkteler E. Morphology of uredinia and urediniospores of the fungus *Melampsora larici-epitea* Kleb. A damaging pathogen of common osier (*Salix viminalis* L.) in Poland. Acta Agrobot. 2010. no. 63 (2). P. 117–125.
6. Храпцов А.К., Волосач М.Н. Фитопатогенные микромицеты Чашникского района Беларуси // Экологический вестник. 2016. № 2 (36). URL: <https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/161641/1/40-48.pdf> (дата обращения: 25.09.2022).
7. Томошевич М.А. Формирование патоконфлюэнтных комплексов древесных растений при интродукции в Сибири: автореф. дис. ... докт. биол. наук. Новосибирск, 2015. 32 с.
8. Bennett C., Newcombe G., Aime C. Host-range studies of *Melampsora* on *Salix* in the Pacific Northwest region on the United States. Environmental Science. 2004. P. 161.
9. Wilkerson D., Crowell C., Carlson C., McMullen P., Smart D., Smart B. Comparative transcriptomics and eQTL mapping of response to *Melampsora americana* in selected *Salix purpurea*. BMC Genomics volume. 2022. no. 23. DOI: 10.1186/s12864-021-08254-1.
10. Anselmi N. Diseases of Poplars and Willows. FAO International workshop. 2009. 17 p.
11. Благовещенская Е.Ю. Фитопатогенные микромицеты: Учебный определитель. М.: ЛЕНАНД, 2015. 240 с.
12. Ванин С.И., Журавлев И.И., Соколов Д.В. Определитель болезней древесных пород и кустарников, применяемых для лесозащитных насаждений. Л.: Гослесбуиздат, 1950. 150 с.

УДК 631.4:631.6

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОМОРФНЫХ ПОЧВ

Турдалиев Ж.М., Санакулов С.Ф.

*Научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимических исследований,
Ташкент, e-mail: jamolbek1986@mail.ru*

В данной статье приведены материалы по геоэкологической характеристике орошаемых гидроморфных почв Ферганской долины, считающейся уникальным регионом Узбекистана, которые образовались в результате сложных воздействий природных и антропогенного факторов. То есть в статье приведены механический состав, агрохимические свойства, параметры грунтовых вод и результаты изучения степени и типы химического засоления данных почв. Изучение литературных данных по геоэкологической характеристике гидроморфных почв данного региона и в том числе результаты полевых и лабораторных исследований показывают, что на основных орошаемых площадях преобладают ирригационная и ветровая эрозия. Природные и гидрогеологические условия изученных земель определили для этих почв склонность к засолению, они в основном засолены слабо и в средней степени, а в ряде случаев встречаются сильно и очень сильно засоленные почвы. По количеству элементов питания почвы в большинстве случаев обеспечены в низкой и очень низкой степени (кроме обменного калия). Подземные воды луговых почв по степени минерализации относятся к группам слабо (1–3 г/л) и средние (3–10 г/л) минерализованных, общее количество солей на сухой остаток составляет 2,490–3,160 г/л, количество ионов хлора 0,056–0,203 г/л. По химическому составу подземные (грунтовые) воды относятся в основном к сульфатному, а на отдельных участках – к хлоридно-сульфатному типам засоления. Среди растворимых катионов в грунтовых водах доминирует ион кальция (0,420–0,630 г/л), а среди анионов – ионы сульфата (1,183–1,921 г/л).

Ключевые слова: гидроморфные почвы, механический состав, агрохимические свойства, грунтовые воды, геоэкология, засоленность, гипс

GEOECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF HYDROMORPHIC SOILS

Turdaliev Zh.M., Sanakulov S.F.

Institute of Soil Science and Agrochemical Research, Tashkent, e-mail: jamolbek1986@mail.ru

This article presents materials on the geoecological characteristics of irrigated, hydromorphic soils of the Ferghana Valley, which is considered a unique region of Uzbekistan, which were formed as a result of complex impacts of natural and anthropogenic factors. That is, the article presents the mechanical composition, agrochemical properties, groundwater parameters and the results of studying the degree and chemical salinity of these soils. The study of literature data on the geoecological characteristics of hydromorphic soils in this region, including the results of field and laboratory studies, shows that irrigation and wind erosion prevail on the main irrigated areas. The natural and hydrogeological conditions of the studied lands determined for these soils a tendency to salinization, which are mostly slightly saline and moderately saline, and in some cases there are strongly and very strongly saline soil varieties. In terms of the number of nutrients, soils in most cases are provided to a low and very low degree (except for exchangeable potassium). According to the degree of mineralization, underground waters of meadow soils belong to the groups of weakly (1–3 g/l) and medium (3–10 g/l) mineralized, the total amount of salts per dry residue is 2.490–3.160 g/l, the amount of chlorine ions is 0.056–0.203 g/l. According to the chemical composition, underground (ground) waters are mainly sulfate, and in some areas to chloride-sulfate types of salinity. Among the soluble cations in groundwater, the calcium ion dominates (0.420–0.630 g/l), and among the anions – sulfate ions (1.183–1.921 g/l).

Keywords: hydromorphic, mechanical composition, agrochemistry, groundwater, geoecology, salinity, gypsum

По географическо-геоморфологическому расположению, природным условиям, литологическому строению, гидрогеологическим и климатическим условиям и по своему геоэкологическому описанию Ферганская долина резко отличается от других регионов Узбекистана (Зеравшанская долина, Мирзачул, Джизакская пустыня и др.). На сегодняшний день обоснование характеристик орошаемых почв и основных почвообразующих факторов с точки зрения их геоэкологического формирования является одним из актуальных вопросов.

Рельеф Центральной Ферганы сложен и делится на три генетических типа, эрозионно-аккумулятивный, аккумулятивный и эолово-аккумулятивный [1, 2]. Это свидетельствует об универсальном влиянии

климатического фактора на почвообразующие факторы региона. Детальное изучение геоэкологического состояния орошаемых почв: механического состава гидроморфных почв, их агрохимического состояния, степени химического засоления – на данный момент актуально с научной и практической точек зрения.

Орошаемые почвы пустынной зоны Ферганской долины за последние периоды своего развития формировались под влиянием грунтовых вод, которые расположены в изученных массивах на глубине 1–2 м и имеют ирригационно-аллювиальный режим. В свою очередь, можно отметить, что среди орошаемых почв Центральной Ферганской долины по своей площади доминирующими являются луговые, лугово-сазовые и лу-

гово-аллювиальные почвы. Оросительный водный режим, своеобразное строение почвенного профиля, то есть поверхностные горизонты почв состоят из супесей и легких суглинков, и, наоборот, нижние горизонты состоят из чередующихся суглинистых и тяжелосуглинистых слоев, обладающих плохой водопроницаемостью. Земледельческая культура обусловила уникальное распределение почвенных видов в этом регионе. Эффективное использование земель, имеющих различную степень и химическое засоление, минерализацию фильтрационных вод, а главное, восстановление и сохранение плодородия почв, систематическое повышение урожайности сельскохозяйственных культур считаются актуальными задачами на сегодняшний день и требуют проведения исследований по геоэкологическому состоянию данного региона.

Цель и задача исследования заключаются в оценке основных свойств, эколого-мелиоративного состояния, степени и типа засоления гидроморфных почв, минерализации грунтовых вод и разработке научно обоснованных мелиоративных мероприятий, направленных на их эффективное улучшение.

Материалы и методы исследования

С целью изучения свойств и мелиоративного состояния гидроморфных почв, распространенных в Ферганской области, в рамках наших исследований были отобраны почвенные образцы по генетическим горизонтам, а также образцы грунтовых вод.

В исследованиях были использованы методы картирования засоленных почв, сравнительно-географические, сравнительно-геохимические, лабораторно-аналитические и камерально-аналитические методы. Отбор почвенных образцов и лабораторно-аналитические работы выполнены на основе методов, указанных в пособиях «Методы агрохимических, агрофизических и микробиологических исследований в поливных хлопковых районах», а также «Руководство к проведению химических и агрофизических анализов почв при мониторинге земель» НИИПА, математически-статистический анализ полученных данных выполнен дисперсионным методом Б.А. Доспехова [3–5].

Результаты исследования и их обсуждение

В рамках проекта (2012–2014 гг.), проведенного в Центральной Фергане НИИ почвоведения и агрохимии по теме «Оценка почв Ферганской долины с учетом генезиса засоления и региональных особенностей, разработка систем мероприятий, направленных на улучшение эколого-мелиоратив-

ного состояния и восстановление и повышение их продуктивности», проводились научно-исследовательские работы на орошаемых землях.

В настоящее время проблема засоления почв во многих странах становится тревожным явлением, ущерб, который засоление может нанести народному хозяйству, очень серьезен, так как урожайность хлопка уменьшается на 20–30% на слабозасоленных землях, на 40–60% на средnezасоленных землях, на участках сильного засоления на 80% и более, а на участках очень сильного засоления всходы хлопчатника погибают при первом же поливе. Основной причиной этого является накопление большого количества ядовитых солей в корнеобитаемом слое почвы и их «ядовитое» действие на растения. Исследуемый район, Ферганская долина, окружен высокими горами и находится в почти замкнутой межгорной тектонической впадине, и во многих литературных источниках широко освещается тот факт, что от него зависят все природные особенности района, в том числе и геоэкологическое состояние почвенного покрова [6, 7].

Изучение почв и подземных вод Ферганской долины было проведено и ранее некоторыми учеными. В наших исследованиях на отобранных почвенных участках мы выбрали створы в линейных плоскостях, пересекающих выбранные районы в вертикальном и горизонтальном направлениях с юга на север и с запада на восток [8, 9].

По данным Центра гидрометеорологии при Кабинете министров Республики Узбекистан (2005–2020 гг.), в западных и северных районах области среднемноголетняя температура воздуха метеостанции Коканд составляет +14,7 °С (+13,8+15,2 °С), в южной и восточной частях на метеостанциях «Кува» и «Фергана» было +14,5; +14,8 °С (+13,7+15,1 °С). Период теплых дней составил в среднем 286–293 дня, а сумма полезных температур наблюдалась в интервале от +2860 до +2930 °С. Следовательно, такое количество полезной температуры подходит для выращивания хлопка, озимых и яровых зерновых, бобовых, большинства овощей, бахчевых, сладких сортов фруктов, винограда и других сельскохозяйственных культур.

Среднее количество холодных дней по температуре почвы составляет 100 дней в районе метеостанций «Фергана» и «Кува», а метеостанции «Коканд» – 110 дней. Такое положение можно объяснить, во-первых, тем, что районы вокруг Коканда в основном равнинные, а во-вторых, в орошаемых площадях грунтовые воды близки к поверхности по сравнению с Ферганским и Кувинским регионами (табл. 1).

Таблица 1

Метеорологические данные (средние многолетние, 2005–2020 гг.)

№	Название метеостанции	Высота местности, в м над уровнем моря	Температура воздуха, °С		Температура почвы, мм		Осадки		Испарение, гПА	Недостаток влаги, гПА	Скорость ветра, м/с	
			Средние	Холодные дни	Средние	Холодные дни	Общий	Доля общего количества осадков по отношению к максимальному количеству осадков за сутки, %			Средние	Максимальные
1	Коканд	401,3	14,7	73	17,4	110	127,4	58,7	11,3	9,5	1,4	25
2	Кува	468,1	14,5	79	17,1	100	200,3	64,4	11,4	9,0	0,8	23
3	Фергана	577,0	14,8	72	17,6	101	176,0	62,5	11,2	9,7	1,0	21

Основная часть осадков (60–65%) из атмосферы приходится на весенние и зимние месяцы (127–200 мм, в отдельные годы 97–278 мм), а в летние месяцы осадков практически не наблюдается (табл. 1). Тот факт, что осадков очень мало в течение вегетационного периода, показывает, что влияние их в регионе на почвенный профиль очень мало.

Количество дней с сильным ветром (скоростью более 15 м/с) в течение вегетационного периода в северо-западной части в среднем составляет 50 дней (в основном вокруг Коканд-Бешарыкского района), что существенно сказывается на выращиваемых сельскохозяйственных культурах. В этих районах сильный эоловый процесс существенно влияет на перемещение песчано-пылевых фракций разной крупности и формирование почвенного профиля.

В формировании почвенного покрова и профиля большую роль играет климатический фактор, определяющий взаимосвязь и уровень активности «почвообразующих факторов» – материнских пород, растительности и др.

Механический состав почв. Верхний, пахотный слой орошаемых лугово-аллювиальных, луговых, лугово-сероземных и лугово-сазовых почв массивов территории, выбранных по створам, по механическому составу состоит из супесей, легких, средних и тяжелых суглинков, и содержание в них частиц физической глины (< 0,01 мм) варьирует от 11,8–19,1% до 50,3–69,6%, содержание илстых частиц (< 0,001 мм) от 1,0–1,6% до 11,4–15,8%. Среди механических элементов преобладают частицы мелкого песка (0,01–0,05 мм) и крупной пыли (0,05–0,01 мм).

Агрохимические свойства почв. Содержание гумуса в верхнем, пахотном горизонте орошаемых почв описываемых массивов составляет 0,96–1,81%, в подпахотном горизонте 0,62–1,32% и уменьшается вниз по профилю до 0,16–0,32%. Содержание валового азота в верхних горизонтах составляет 0,059–0,098%, фосфора – 0,260–0,360%, общего калия – 1,130–1,870%. По количеству подвижного азота (N–NO₃) и фосфора почвы относятся к очень низко и низко обеспеченным группам почв, а по содержанию обменного калия к средне (200–300 мг/кг) и повышено обеспеченным (300–400 мг/кг). CO₂ карбонатов распределены в почвах неравномерно и варьируют в пределах от 5–6 до 8–9%.

Емкость поглощения и состав поглощенных оснований почв. Относительно высокое содержание натрия в емкости поглощения создает щелочную среду в почвах и приводит к образованию в почвенном растворе вредной для растений соли Na₂CO₃ (сода). В почвах массива «Мулкобод» Дангаринского района отмечена сравнительно низкая емкость поглощения: в 100 г почвы составляет 5,47–6,84 мг-экв относительно почв других массивов: «Дустлик» Фуркатского района – 10–16 мг-экв. Почвы массива «Хонобод» Язъяванского района в этом отношении занимают промежуточное положение (9–12 мг-экв). В составе поглощенных катионов количество кальция по отношению к сумме катионов составляет 43–61%, магния – 35–53%, калия – 0,88–6,72% и содержание поглощенного натрия составляет 1,35–6,73%. Все изученные почвы относятся к несолонцеватой почвенной категории, в профиле некоторых разрезов наблюдаются

ся слабосолонцеватые засоленные (> 5 мг-экв) горизонты (натрий 5–7 мг-экв).

Состояние, основные параметры, химический состав подземных грунтовых вод. Глубина залегания грунтовых вод орошаемых почв массивов Центральной Ферганы в период вегетации составляет 100–170 см, воды в основном в слабой (1–3 г/л) и средней (3–10 г/л) степени минерализации, общее количество солей по сухому остатку варьирует от 1,640–2,830 до 5,100–8,571 г/л и только в разрезе 21 составляет 11,930 г/л, из них количество ионов хлора 0,070–0,270 г/л. Химизм (тип) засоления во всех случаях состоит из сульфатного типа, в части катионов в основном натрий-кальциевый и магниевый-кальциевый.

В условиях Ферганской долины (особенно Центральной Ферганы), дренируемой естественным и искусственным путем, в результате многолетнего высокогорного орошения поднялся уровень грунтовых вод, что, в свою очередь, привело к активному накоплению солей в орошаемых слоях по-

чвы и, как следствие, к ухудшению эколого-мелиоративного состояния орошаемых земель. Состояние подземных вод носит сезонный характер, после окончания вегетационного периода типичная для района глубина уменьшается до 2–2,5 метров, в вегетационный период она составляет 0,5–1,5 м, а в сентябре-октябре колеблется в районе 105–170 см.

По составу водной вытяжки орошаемые луговые почвы массива «Ханабад» Язъяванского района засолены в слабой и средней степени, и можно заметить, что слабозасоленные почвы засолены хлоридно-сульфатным, а среднезасоленные площади сульфатным типом засоления. Содержание легкорастворимых солей в генетических горизонтах варьирует от 0,115 до 1,425% (табл. 2).

Среди анионов, как правило, доминирует ион сульфата, а ионы бикарбоната и хлора находятся в последующих местах, и можно отметить, что содержание гидрокарбонатов выше хлор иона в среднезасоленных горизонтах.

Таблица 2

Содержание легкорастворимых солей
и химический состав изученных гидроморфных почв

№ разрез	Глубина, см	Плотный остаток	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na	Засоление	
									%%	
<i>Орошаемые луговые почвы массива «Ханабад» Язъяванского района</i>										
19	0–35	0,255	0,027	0,024	0,117				х-с	слабо
	35–50	0,180	0,027	0,014	0,084				х-с	слабо
	50–62	0,120	0,024	0,017	0,043				х-с	слабо
	62–100	0,115	0,021	0,017	0,039				х-с	слабо
	100–140	0,120	0,030	0,017	0,037				х-с	слабо
21	0–30	1,270	0,027	0,017	0,749	0,280	0,012	0,035	с	средне
	30–60	1,350	0,024	0,021	0,802	0,320	0,003	0,033	с	средне
	60–110	1,360	0,021	0,021	0,808	0,290	0,030	0,018	с	средне
	110–170	1,425	0,027	0,021	0,843	0,300	0,024	0,037	с	средне
<i>Орошаемые лугово-сазовые и лугово-аллювиальные почвы массива «Мулкабад» Дангаринского района</i>										
24	0–35	0,670	0,021	0,024	0,440	0,095	0,051	0,026	с	слабо
	35–50	0,405	0,018	0,010	0,261	0,050	0,030	0,024	с	слабо
	50–80	0,400	0,021	0,014	0,255	0,035	0,039	0,025	с	слабо
	80–120	0,280	0,024	0,014	0,164	0,020	0,024	0,027	с	незасоленные
	120–150	0,235	0,030	0,017	0,123	0,020	0,018	0,024	с	незасоленные
15	0–38	3,205	0,024	0,273	1,691				х-с	солончак
	38–54	2,090	0,018	0,133	1,111				х-с	солончак
	54–76	1,885	0,021	0,192	0,905				х-с	сильно
	76–100	1,690	0,021	0,175	0,812				х-с	сильно
	100–130	2,705	0,018	0,175	1,492				х-с	сильно

Среди катионов, как правило, доминируют ионы кальция, ионы натрия хотя и уступают по содержанию кальцию, но их количество всегда выше ионов магния.

Содержание легкорастворимых солей в орошаемых лугово-сазовых и лугово-аллювиальных почвах массива «Мулкабад» колеблется в больших пределах и составляет от 0,235 до 3,205%. Встречаются почвы от незасоленных и слабозасоленных до очень сильно засоленных. Но, в отличие от массива «Ханабад», в массиве «Мулькабад» сильно и очень сильнозасоленные горизонты хлоридно-сульфатного типа засоления.

А незасоленные и слабозасоленные горизонты сульфатного типа засоления. Среди анионов, как и в других массивах, преобладают ионы сульфата и колеблются от 0,123 до 1,691%. Содержание хлор-ионов колеблется от 0,014 до 0,273%. Бикарбонат-ионы содержатся в пределах 0,018–0,030%. Среди катионов содержание кальция колеблется в пределах 0,02–0,095%, магния 0,018–0,051%, а натрия – 0,024–0,027% (табл. 2).

Заключение

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что согласно геоэкологическому описанию изученных гидроморфных почв процессы соленакопления возникли в результате природных и антропогенных воздействий, и в этом процессе важную роль играет оросительное земледелие.

Состояние подземных вод носит сезонный характер, и после окончания вегетационного периода типичная для изученных массивов глубина залегания снижается до 2–2,5 м, в вегетационный период она составляет 0,5–1,5 м, а в сентябре-октябре колеблется в районе 105–170 см.

Содержание общих легкорастворимых солей колеблется в больших пределах,

что объясняется слабой естественной дренированностью, природно-климатическими условиями и интенсивностью использования водных и земельных ресурсов.

Поэтому для повышения продуктивности орошаемых почв изученных массивов требуется комплекс агротехнических и агромелиоративных мероприятий. Развитие ресурсосберегающих и высокоэффективных методов орошения в районе будет иметь положительные результаты в будущем, так как это приведет к снижению уровня грунтовых вод до и ниже критического.

Список литературы

1. Исаков В.Ю., Юсупова М.А. Генетико-географические особенности песчаных массивов Ферганской долины // Научное обозрение. Биологические науки. 2021. № 3. С. 16–20.
2. Исаков В.Ю. Засоленные почвы Ферганской долины // Вестник Туранской академии наук. 2016. № 4. С. 18–21.
3. Методы агрохимических, агрофизических и микробиологических исследований в поливные хлопковые районы. Ташкент, 1963. С. 120.
4. Руководство к проведению химических и агрофизических анализов почв при мониторинге земель. Ташкент, 2004. С. 260.
5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропроиздат, 1985. С. 9–351.
6. Исмонов А.Ж., Абдурахманов Н.Ю., Каримов Х.Н., Каландаров Н.Н., Турсунов Ш.Т. Почвы центральной Ферганы и их изменение при орошении // Научное обозрение. Биологические науки. 2018. № 3. С. 12–17.
7. Кузиев Р., Абдурахманов Н., Исмонов А., Омонов А. Инструкция по ведению земельного кадастра, проведению почвенных изыскательских работ и составлению почвенных карт. Ташкент, 2013. С. 52.
8. Закирова С.Х. Научные основы генезиса, агрофизических и агрохимических свойств, повышения производительности песков Центральной Ферганы: дис. ... докт. сельхоз. наук. Ташкент, 2017. 240 с.
9. Турдалиев Ж.М. Орошаемые почвы Ферганской области и оценка их эколого-мелиоративного состояния: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ташкент, 2019. 41 с.

УДК 631.47

ИЗМЕНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Жобборов Б.Т.

*Национальный университет Узбекистана им. Мирзо Улугбека, Ташкент,
e-mail: bakhrom.jobborov@mail.ru*

В статье представлены обобщенные данные по составу микрофлоры (по количеству колоний) в образцах почв, взятых из 7 участков на глубине 0–30 см вокруг АО «Узбекский металлургический комбинат», АО «Бекабадцемент», АО «Ангренская ТЭС», АО «Ново-Ангренская теплоэлектростанция» в городе Ангрен, нефтяной базы Ангрена, АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» в городе Алмалык и АО «Аммофос-Максам». Для определения микрофлоры (числа колоний) почв в лабораторных условиях использовались методы Е.З. Теппера и О.А. Некрасовой. Наряду с полезными микроорганизмами в данных образцах обнаружены и патогенные микроорганизмы. По результатам, полученным в обозначенных точках для отбора проб почв, установлено наличие таких почвенных организмов, как *Fusarium*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Mucor*, *Penicillium*, *Verticillium* *Azotobacter* *Bacillus*, представителей родов *Xanthomonaskabibacterium*. Изменение биологических свойств в образцах почв и снижение численности микроорганизмов по сравнению с другими отраслями промышленности наблюдались в образцах, взятых вокруг АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат», Ангрена и Ново-Ангренской ТЭС. Это объяснялось увеличением количества вредных соединений, попадающих в почву в результате многолетней деятельности вышеуказанных отраслей промышленности.

Ключевые слова: горно-металлургический комбинат, теплоэлектрическая станция, почва, микроорганизм, загрязняющие вещества, тяжелые металлы, промышленность, техногенное загрязнение

CHANGES IN THE BIOLOGICAL PROPERTIES OF SOILS UNDER THE INFLUENCE OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

Zhobborov B.T.

*National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Tashkent,
e-mail: bakhrom.jobborov@mail.ru*

The article presents data on the composition of the microflora (the number of colonies) in soil samples taken from 7 sites at a depth of 0–30 cm around JSC «Uzbek Metallurgical Plant», JSC «Bekabadcement», JSC «Angren TPP», JSC «Novo-Angren Thermal Power Plant» in the city of Angren, the Angren oil base, the Almalyk Mining and Metallurgical Combine in the city of Almalyk and Ammofos-Maksam JSC. To determine the microflora (number of colonies) of soils in laboratory conditions, they were analyzed using the methods of Tepper E.Z. and Nekrasova O.A. Along with beneficial microorganisms, the presence of pathogenic microorganisms was also found in these samples. According to the results obtained at the designated points for soil sampling, the presence of such soil organisms as *Fusarium*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Mucor*, *Penicillium*, *Verticillium* *Azotobacter* *Bacillus*, representatives of the genera *Xanthomonaskabibacterium* was established. A change in the biological properties of the soil and a decrease in the number of microorganisms compared to other industries were observed in soil samples around the Almalyk Mining and Metallurgical Combine JSC, Angren and Novo-Angren TPP. This was due to an increase in the amount of harmful compounds entering the soil as a result of many years of activity of the above industries.

Keywords: mining and smelting plant, thermal power plant, soil, microorganism, pollutants, heavy metals, industry, industrial pollution

Сегодня экологические и биологические свойства орошаемых почв в результате разработки месторождений, выработки, переработки электроэнергии, деятельности промышленных предприятий по всему миру также оказывают влияние на микроорганизмы. В результате наблюдаются ухудшение экологического состояния почвы, а также техногенное загрязнение. Решение данной проблемы, эффективное использование земель в промышленно развитых районах, поддержание плодородия почвы, улучшение ее экологического состояния являются актуальными вопросами.

Почва считается одним из основных ресурсов для выживания человечества, потому что, удовлетворяя потребности всех живых

организмов в пище, почва выполняет функцию производства питательных веществ.

Проведена большая работа по изучению свойств почв промышленных территорий. В частности, в результате анализа изученной литературы установлено, что такие тяжелые металлы, как As, Cd, Cr, Pb, Hg, влияют на численность, разнообразие и активность популяции микробов в почве, а также на их генетическую структуру. В то же время тяжелые металлы, попавшие в почву, служат ограничивающим фактором для существования микроорганизмов. Также было обнаружено, что они вызывают функциональные нарушения микроорганизмов [1]. При этом влияние тяжелых металлов на два исследуемых штамма изучали

путем приготовления растворов от 90 мкг до 900 мкг. Выращивание бактерий проводили при постоянной температуре $280 \pm 20^\circ\text{C}$ в течение 72 часов. Кроме того, параллельно проводили культивирование микроорганизмов на питательных средах без тяжелых металлов. Результаты показали, что в питательных средах с добавлением тяжелых металлов рост микроорганизмов был очень низким, а в растворах без тяжелых металлов наблюдался нормальный рост микроорганизмов [2]. Из этого следует, что тяжелые металлы оказывают большое влияние на развитие микроорганизмов в почвах [3].

В результате того, что стенки микробных клеток, состоящие в основном из полисахаридов, липидов и белков, поглощают ионы тяжелых металлов, было обнаружено, что здоровым популяциям микроорганизмов был нанесен серьезный ущерб из-за токсичности тяжелых металлов [4]. Также при изучении воздействия на микроорганизмы тяжелых металлов Cr, Zn и Cd, попавших в почву в результате деятельности промышленных предприятий в городе Инчон (Корея), было обнаружено, что эти тяжелые металлы наносят ущерб их развитию, размножению и метаболизму [5].

Материалы и методы исследования

В статье представлены обобщенные данные по составу микрофлоры (по количеству колоний) в образцах почв, взятых из 7 участков на глубине 0–30 см вокруг АО «Узбекский металлургический комбинат», АО «Бекабадцемент», АО «Ново-Ангренская теплоэлектростанция» в городе Ангрен, нефтяной базы Ангрена, АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» в городе Алмалык и АО «Аммофос-Максам». Полученные образцы почв были проанализированы с использованием методов Теппера и Некрасовой для определения микрофлоры (количества колоний) в лаборатории в течение 2 часов [6]. Полученные образцы почвы разводили дистиллированной стерильной водой в соотношениях 1:10, 1:100, 1:1000, 1:10 000, 1:100 000, 1:1 000 000, 1:10 000 000.

Образцы, разбавленные в соотношении 1: 1000 и 1: 10 000, выносили на питательные среды Чапека, КДА и Сабуро, а образцы, разбавленные в соотношении 1: 100 000, выносили на питательные среды Каа и Эшби, 1:1 000 000, 1:10 000 000 пробы, разведенные в пропорциях ГПА, высаживали на питательные среды.

Данные образцы были посажены на питательные среды 3 раза подряд [7]. У образцов, посаженных на питательную

среду ГПА, наблюдался рост микроорганизмов до 5 дней при температуре $30 \pm 2^\circ\text{C}$, а на остальных питательных средах – при температуре 28°C до 7 дней.

Результаты исследования и их обсуждение

По результатам научных исследований изменения экологического состояния биологических свойств почв вокруг АО «Узбекский металлургический комбинат», расположенного в Бекабадском районе Ташкентской области, выявлено, что снижение биоты почв существенно влияет и на состав и жизнедеятельность почв. Загрязнение почв вокруг металлургических комбинатов токсичными веществами сказывается на целых экосистемах и здоровье человека. Учеными изучается загрязнение, обусловленное горнодобывающей деятельностью, которая влияет на многие экосистемы по всему миру с экологической точки зрения.

В частности, в Узбекистане горнодобывающая промышленность вносит свой вклад в развитие экономики Республики. Развитие горнодобывающих отраслей оказывает негативное влияние на некоторые экосистемы. Загрязнение металлами, являющимися отходами горнодобывающей промышленности, такими как мышьяк, кадмий, хром, медь, свинец, ртуть, никель и цинк, приводит к сокращению количества бактерий и грибов в почве.

Как нам известно, микроорганизмы в почве определяют ее биологические, экологические и экономические показатели, помогая повысить естественное плодородие и биоразнообразие почвы. Одной из основных функций микроорганизмов в почвенном распределении, в том числе обеспечивающих круговоротное движение веществ, служат виды микроорганизмов, которые также будут зависеть от элементов, содержащихся в почве. В результате деятельности некоторых отраслей промышленности Ташкентской области, где мы проводили исследования, было установлено, что общее количество микроорганизмов в почве разное. В частности, во время деятельности АО «Узбекский металлургический комбинат», расположенного в Бекабадском районе, выплавка металла оказала негативное влияние на среду обитания микроорганизмов и бактерий, обитающие в окружающей среде и почве, обусловленное воздействием вредных выбросов, поднимающихся в атмосферу. Было отмечено, что загрязнение почвы микроорганизмами в АО «Бекабадцемент» относительно меньше, чем на металлургическом заводе.

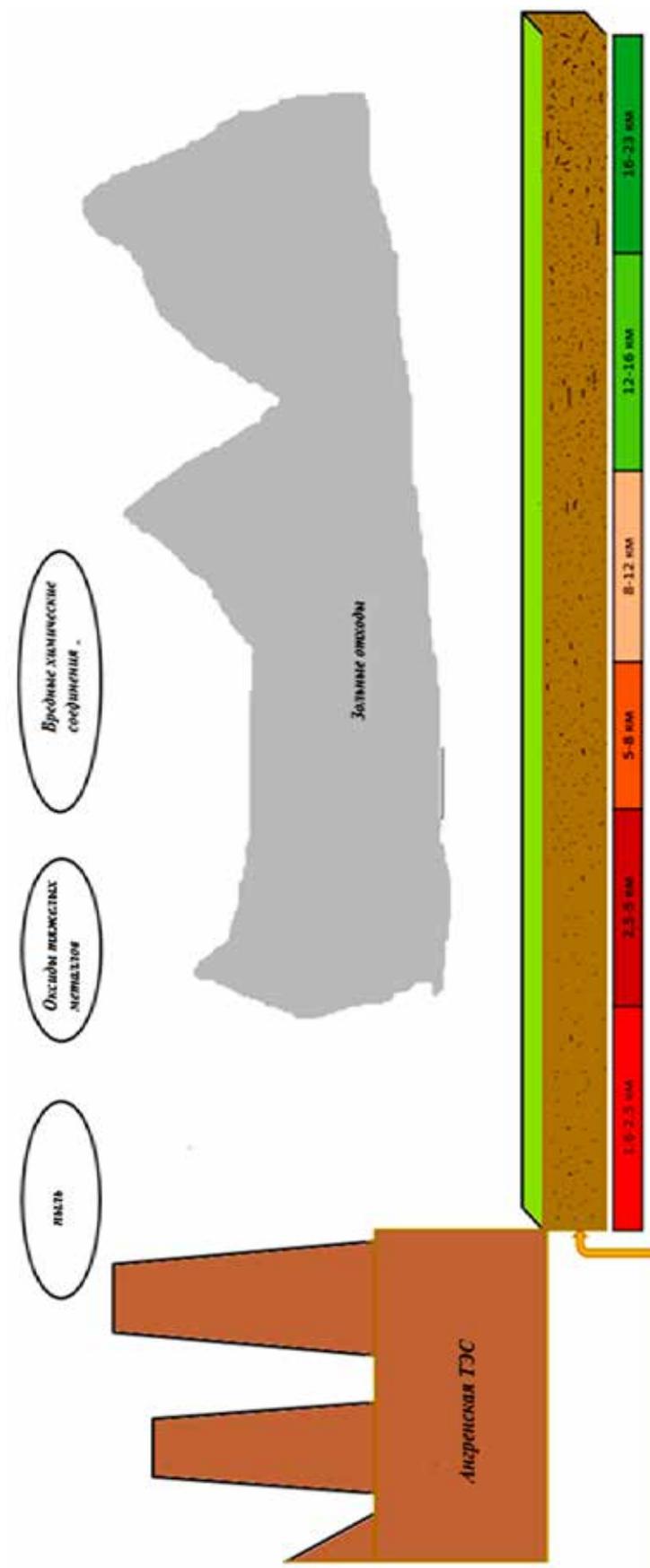


Рис. 1. Влияние загрязняющих веществ на микрофлору почв, распространенных вокруг Ангренской теплоэлектростанции, расположенной в Ахангаранском районе Ташкентской области

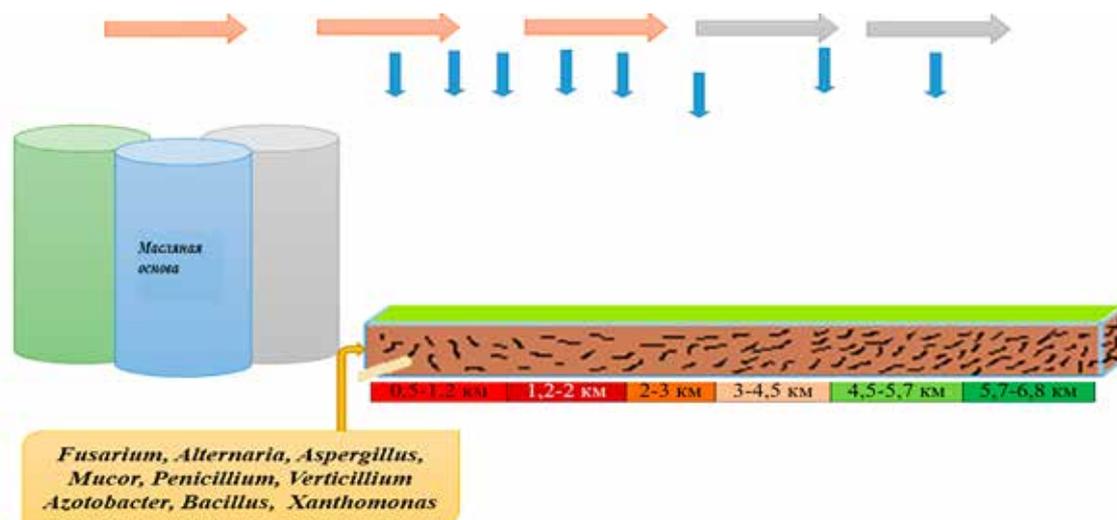


Рис. 2. Влияние на микрофлору почв, распространенных вокруг Ангренской нефтебазы

Было отмечено, что из-за распространения золошлаковых выбросов и различных видов химических соединений в окружающую среду в связи с длительной эксплуатацией Ангренской ТЭС, расположенной в Ахангаранском районе, и Ново-Ангренской ТЭС и использованием в качестве топлива угля вокруг усилилось воздействие на живущие в почве микроорганизмы (рис. 1).

В связи с распространением в окружающую среду пыли, оксидов тяжелых металлов и вредных химических соединений из дымовой трубы Ангренской ТЭС наблюдалось поражение микроорганизмов в почве. Было обнаружено, что эти рассеянные вредные соединения оказывают свое негативное влияние на микроорганизмы в почве на значительных расстояниях – от 1,6 до 12 км от объекта. На экологическое состояние орошаемых почв негативно повлияло накопление в районе полусгоревшей угольной золы с Ангренской ТЭС.

Уровень загрязнения увеличивается за счет прямого воздействия климатических факторов на изменение почвенных микробных сообществ Ангренской нефтебазы. В частности, остатки нефтепродуктов, попавшие на поверхность почвы, начинают оказывать воздействие на микроорганизмы, живущие в ней, при увлажнении почвы. Это приводит к ограничению условий обитания, влияет на виды микроорганизмов в почве. В результате экологическое состояние почв изменилось в негативную сторону, что привело к снижению показателей их плодородия. Микроорганизмы в почве помогают увеличить содержание гумуса в почве, превращая корни растения из органического

вещества в неорганическое после окончания вегетационного периода. Схема поражения микроорганизмов, обитающих в почвах, расположенных вокруг Ангренской нефтебазы, представлена на рисунке 2.

При этом влияние климатических факторов на окружающую среду привело к уменьшению общей численности таких микроорганизмов, как *Fusarium, Alternaria, Aspergillus, mucor, Penicillium, Verticillium, azotobacter, Bacillus, u Vaxanthomonas*, широко распространенных в почве. Как видно из приведенного рисунка, количество микроорганизмов увеличивается по мере удаления от Ангренской нефтяной базы. Помимо этого, также видно, что степень поражения микроорганизмов значительно снижается в пределах 0,5–4,5 км.

В ходе исследования изучалась микрофлора типичных орошаемых серых почв, распространенных вокруг АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» и АО «Аммофос-Максам», расположенных в городе Алмалык. Пыль, зола и оксиды тяжелых металлов, которые оба этих предприятия распространяли по территории, препятствовали росту микроорганизмов из-за их высокого содержания в почвах.

Были взяты образцы почвы для определения общей численности микроорганизмов в орошаемых темно-сероземах, расположенных вокруг АО «Узбекский металлургический комбинат», АО «Бекабадцемент», АО «Ангренская ТЭС», «Ново-Ангренская ТЭС», и орошаемых типичных сероземах, распространенных вокруг Ангренской нефтяной базы, АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» и АО «Аммофос-Максам» Ташкентской области.

АО «Узбекский металлургический комбинат», АО «Бекабадцемент»,
«Ангренская теплоэлектростанция», «Ново-Ангренская теплоэлектростанция»,
«Ангренская нефтяная электростанция», «Алмалыкский горно-металлургический
комбинат», АО «Аммофос-Максам», расположенных в Ташкентской области

Участок исследования	Номер разрез почвы	Глубина почвы в см	Сабуро	Чапека	Эшби	КАА	ГПА
			Микроскопические грибы	Микроскопические грибы	Azotobacter	Актиномицеты	Бактерии
Орошаемые серолуговые почвы, расположенные вокруг АО «Узбекский металлургический комбинат»	КБ-16-0,9	0-30	1×10^3	2×10^5	1×10^3	1×10^1	1×10^7
	КБ-16-2,5	0-30	1×10^3	2×10^5	2×10^3	1×10^2	2×10^7
	КБ-16-5	0-30	0	3×10^5	2×10^3	0	2×10^7
	КБ-16-8	0-30	3×10^3	4×10^5	3×10^2	2×10^3	3×10^7
	КБ-16-12	0-30	4×10^3	5×10^5	1×10^4	3×10^2	3×10^7
	КБ-16-16	0-30	1×10^3	1×10^6	0	1×10^2	2×10^8
	КБ-16-23	0-30	2×10^4	2×10^6	1×10^2	2×10^3	3×10^8
Фоновая почва	0-30	3×10^4	3×10^6	2×10^2	3×10^4	5×10^8	
Орошаемые серолуговые почвы, расположенные вокруг АО «Бекобадцемент»	КБ-16-0,5	0-30	1×10^4	3×10^6	2×10^1	2×10^1	2×10^7
	КБ-16-1,2	0-30	2×10^4	3×10^5	2×10^3	3×10^1	3×10^7
	КБ-16-2	0-30	3×10^4	4×10^5	3×10^3	4×10^1	3×10^7
	КБ-16-3	0-30	3×10^4	0	3×10^2	6×10^2	4×10^7
	КБ-16-4,5	0-30	5×10^4	2×10^5	0	2×10^1	5×10^9
	КБ-16-5,7	0-30	1×10^5	3×10^6	2×10^3	3×10^2	3×10^8
	КБ-16-6,8	0-30	2×10^5	5×10^6	8×10^2	7×10^1	5×10^9
Фоновая почва	0-30	3×10^6	9×10^6	1×10^2	8×10^1	4×10^8	
Орошаемые темно-серолуговые почвы, расположенные вокруг Ангренской теплоэлектростанции	КА-16-1,6	0-30	7×10^3	2×10^4	1×10^2	0	2×10^8
	КА-16-2,5	0-30	1×10^3	7×10^4	2×10^2	1×10^3	3×10^8
	КА-16-5	0-30	2×10^3	1×10^5	1×10^1	1×10^3	6×10^8
	КА-16-8	0-30	0	1×10^5	0	3×10^3	8×10^9
	КА-16-12	0-30	3×10^3	1×10^5	2×10^2	4×10^3	1×10^9
	КА-16-16	0-30	4×10^3	0	6×10^3	9×10^2	6×10^8
	КА-16-23	0-30	1×10^3	3×10^5	1×10^1	1×10^3	6×10^8
Фоновая почва	0-30	4×10^3	3×10^6	2×10^2	8×10^2	1×10^7	
Орошаемые темносеролуговые почвы, расположенные вокруг Ново-Ангренской теплоэлектростанции	КА-16-1,7	0-30	0	8×10^4	1×10^3	1×10^2	2×10^9
	КА-16-2,8	0-30	1×10^3	1×10^5	2×10^3	1×10^2	4×10^8
	КА-16-5,6	0-30	3×10^3	1×10^5	1×10^2	2×10^3	7×10^5
	КА-16-7	0-30	3×10^3	1×10^5	0	3×10^3	9×10^5
	КА-16-11	0-30	4×10^3	2×10^5	2×10^2	4×10^3	1×10^6
	КА-16-15	0-30	6×10^3	0	6×10^3	0	7×10^6
	КА-16-24	0-30	2×10^4	4×10^5	2×10^3	2×10^2	1×10^7
Фоновая почва	0-30	6×10^4	4×10^6	1×10^2	1×10^3	1×10^8	
Орошаемые темно-серолуговые почвы, расположенные вокруг Ангренской нефтебазы	КА-16-0,2	0-30	7×10^2	2×10^4	1×10^3	0	2×10^5
	КА-16-0,6	0-30	1×10^3	7×10^4	2×10^3	1×10^3	3×10^5
	КА-16-1	0-30	2×10^3	1×10^5	1×10^3	1×10^3	6×10^5
	КА-16-1,5	0-30	0	1×10^5	0	3×10^3	8×10^5
	КА-16-2,2	0-30	3×10^3	1×10^5	2×10^1	4×10^3	1×10^6
	КА-16-2,8	0-30	4×10^3	1×10^4	6×10^2	9×10^2	6×10^6
	КА-16-3,5	0-30	1×10^4	3×10^4	1×10^3	0	6×10^7
Фоновая почва	0-30	4×10^4	7×10^5	2×10^1	8×10^3	1×10^8	

Окончание табл.

Участок исследования	Номер разрез почвы	Глубина почвы в см	Сабуро	Чапека	Эшби	КАА	ГПА
			Микроскопические грибы	Микроскопические грибы	<i>Azotobacter</i>	Актиномицеты	Бактерии
Орошаемые типично-луговые почвы, расположенные вокруг АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат»	КО-16-0,9	0-30	1x10 ³	6x10 ⁴	0	7x10 ³	1x10 ⁵
	КО-16-2,8	0-30	1x10 ³	1x10 ⁴	2x10 ²	1x10 ³	2x10 ⁵
	КО-16-6	0-30	0	1x10 ⁴	8x10 ¹	0	7x10 ⁵
	КО-16-8	0-30	3x10 ³	2x10 ⁴	0	3x10 ³	1x10 ⁶
	КО-16-11	0-30	3x10 ³	2x10 ⁴	3x10 ⁴	4x10 ³	2x10 ⁶
	КО-16-15	0-30	7x10 ³	0	0	1x10 ²	3x10 ⁶
	КО-16-22	0-30	2x10 ⁴	1x10 ⁵	2x10 ¹	2x10 ¹	1x10 ⁷
	Фоновая почва	0-30	5x10 ⁴	3x10 ⁵	1x10 ¹	1x10 ¹	1x10 ⁸
Орошаемые типично-луговые почвы, расположенные вокруг АО «Аммофос-Максам»	КО-16-0,7	0-30	1x10 ³	2x10 ³	1x10 ²	9x10 ²	2x10 ⁵
	КО-16-1,3	0-30	1x10 ³	5x10 ⁴	2x10 ²	1x10 ²	4x10 ⁵
	КО-16-2	0-30	0	9x10 ⁴	1x10 ²	1x10 ³	6x10 ⁵
	КО-16-4	0-30	1x10 ³	1x10 ⁴	2x10 ²	3x10 ³	9x10 ⁵
	КО-16-8	0-30	3x10 ³	1x10 ⁴	3x10 ²	5x10 ³	1x10 ⁶
	КО-16-12	0-30	3x10 ³	1x10 ⁴	4x10 ²	1x10 ¹	3x10 ⁶
	КО-16-16	0-30	5x10 ⁴	2x10 ⁴	0	2x10 ¹	1x10 ⁷
	Фоновая почва	0-30	1x10 ⁴	1x10 ⁵	3x10 ¹	4x10 ¹	2x10 ⁷

При этом на первом разрезе КО-16-0,9, близком к АО «Узбекский металлургический комбинат», количество микроорганизмов, относящихся к видам *Fusarium*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Mucor*, *Penicillium*, *Verticillium*, в лабораторных условиях было получено как 1x10³ с Сабуро, 1x10⁴ с КДА, 2x10⁵ с Чапека, 1x10⁵ с КАА. По полученным результатам по сравнению с первым разрезом на разрезе КО-16-23 выявлено наличие микроорганизмов рода *Fusarium*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Mucor*, *Penicillium*, *Verticillium* 2x10⁴ с Сабуро, 4x10⁴ с КДА, 2x10⁵ с Чапека, 2x10⁶ КХБ с КАА. Из этого видно, что по мере увеличения расстояния влияние промышленного сектора на количество микроорганизмов в почве уменьшалось. Установлено, что в 23 км от промышленной сети количество микроорганизмов увеличилось в 3 раза по сравнению с 900 м от металлургического комбината Узбекистана.

Также было обнаружено, что микроорганизмы, относящиеся к роду *Azotobacter*, содержащиеся в почве, при выращивании на питательных средах Эшби имели размер 1x10⁶ КХБ в образцах почвы, взятых в ядре в 900 м от комбината, и 1x10⁷ КХБ – в 23 км от комбината.

Наблюдалось разное влияние промышленных отраслей на микроорганизмы, непосредственно присутствующие в почве. Установлено, что численность микроорганизмов, обитающих в серо-луговых почвах вокруг территории АО «Бекабадцемент» и металлургического комбината Узбекистана, различается. По полученным результатам установлен рост микроорганизмов, относящихся к родам *Fusarium*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Mucor*, *Penicillium*, *Verticillium*, с 1x10⁴ на питательной среде Сабуро, 2x10⁴ на питательной среде КДА, 3x10⁵ на питательной среде Чапека и до 2x10⁵ КХБ на питательной среде КАА. Также установлено, что бактерии из рода *Azotobacter* имеют 2x10⁶ КХБ в 0,5 км, а в образце, выращенном на питательной среде ГПА, количество бактериальных колоний равно 2x10⁷ КХБ.

Заключение

По результатам, полученным в точках отбора проб почвы вокруг 7 объектов промышленности, расположенных в Ташкентской области, было определено изменение биологических свойств почвы вокруг АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат», Ангрен и Ново-Ангренской ТЭС. На этих объектах наблюдалось снижение

численности микроорганизмов по сравнению с другими предприятиями.

Список литературы

1. Ayangbenro A.S., Babalola O.O. A New Strategy for Heavy Metal Polluted Environments: A Review of Microbial Biosorbents. *International journal of Environmental Research and public health*. 2017. P. 1-16.
2. Diaconua M., Pavela L.V., Hlihora R.M., Rosca M., Fertua D.I., Lenzd M., Corvinid P.X., Gavrilesca M. Characterization of heavy metal toxicity in some plants and microorganisms – A preliminary approach environmental bioremediation. *New BIOTECHNOLOGY*. 2020. V. 56. P. 130-139.
3. Anna K.J., Zofia P.S. The Effect of Heavy Metals on Microbial Communities in Industrial Soil in the Area of PiekaryŚląskie and Bukowno (Poland). *Microbiological Research*. 2022. V. 13(3). P. 626-642.
4. Dixit R., Malaviya D., Pandiyan K., Singh U. B., Sahu A., Shukla R., Singh B.P., Rai J.P., Sharma P.K., Lade H., Paul D. Bioremediation of Heavy Metals from Soil and Aquatic Environment: An Overview of Principles and Criteria of Fundamental Processes. *Sustainability* 2015. V. 7. P. 2189-2212.
5. Kang Ch.H., So J.S. Heavy metal and antibiotic resistance of ureolytic bacteria and their immobilization of heavy metals. *Ecological engineering*. 2016. V. 97. P. 304-312.
6. Некрасова О.А. Методы анализа органического вещества почв // Руководство к лабораторным занятиям. Е., 2008. С. 3-10.
7. Литвинов М.А. Методы изучения почвенных микроскопических грибов. М.: Наука, 1969. 123 с.

УДК 504.45

КОМПЛЕКСНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОСТОЯНИЯ ШЕРШНЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА (РОССИЯ, Г. ЧЕЛЯБИНСК)

Кравцова А.В., Ходоровская Н.И., Дерябина Л.В.

*ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет», Челябинск,
e-mail: kravtsova87@yandex.ru*

В работе представлена комплексная характеристика состояния единственного источника питьевого водоснабжения г. Челябинска – Шершневского водохранилища и его притоков в 2021 г. с использованием гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических показателей. Оценка качества воды представлена по рыбохозяйственным и хозяйственно-питьевым нормативам с использованием удельного комбинаторного индекса загрязненности воды, характеристики сапробности, трофности, трофо-сапробиологическим и эколого-токсикологическим показателям. Наибольший вклад в итоговую оценку качества воды в период летней межени внесли такие факторы, как pH, высокий процент пересыщения воды кислородом, низкая прозрачность, высокая цветность, повышенное содержание органических соединений (соединения фосфора, БПК₅, перманганатная окисляемость), численность и биомасса фитопланктона, а также токсиканты: железо, медь, марганец, цинк, нефтепродукты, СПАВ. В экосистеме Шершневского водохранилища в 2021 г. установились условия, соответствующие переходу от мезотрофного состояния к мезоэвтрофному состоянию, воды характеризуются по показателям развития планктона как бета-мезосапробные. Воды Шершневского водохранилища его притоков в 2021 г. являются загрязненными согласно УКИЗВ с критическим показателем загрязненности – медь (превышение ПДК_{рыбхоз.} в 5 раз), а также с превышением ПДК_{рыбхоз.} марганца, железа общего в воде и БПК₅.

Ключевые слова: качество воды, загрязненность, трофность, сапробность, нормирование

COMPLEX CHARACTERISTICS OF THE STATE OF THE SHERSHNEVSKY RESERVOIR (RUSSIA, CHELYABINSK)

Kravtsova A.V., Khodorovskaya N.I., Deryabina L.V.

Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, e-mail: kravtsova87@yandex.ru

The paper presents a comprehensive description of the state of the only source of drinking water supply in Chelyabinsk – the Shershnevsky reservoir and its tributaries in 2021. using hydrophysical, hydrochemical and hydrobiological indicators. The assessment of water quality is presented according to fishery and drinking standards using a specific combinatorial index of water pollution, characteristics of saprobity, trophic, trophic-saprobiological and ecological-toxicological indicators. The greatest contribution to the final assessment of water quality during the summer autumn was made by such factors as pH, a high percentage of water supersaturation with oxygen, low transparency, high color, increased content of organic compounds (phosphorus compounds, BPK₅, permanganate oxidability), phytoplankton biomass, as well as toxicants – iron, copper, manganese, zinc, petroleum products, SPAV. In the ecosystem of the Shershnevsky reservoir in 2021 the conditions corresponding to the transition from the mesotrophic state to the mesoeutrophic state have been established, the waters are characterized by indicators of plankton development as beta-mesasaprobic. The waters of the Shershnevsky reservoir of its tributaries in 2021 are polluted according to the UKIZV with a critical indicator of contamination – copper (exceeding the MPC, by 5 times), as well as exceeding the MPC. manganese, common iron in water and BPK₅.

Keywords: water quality, pollution, trophic, saprobity, standardization

Оценка состояния водных объектов приобретает в последнее время значимый характер, что связано с возрастанием значения антропогенных факторов, с одной стороны, а с другой – изменениями элементов регионального климата, которые влияют на формирование гидрохимического и гидрологического режима. Качество воды водных объектов также определяется поверхностным стоком и притоками, которые в свою очередь зависят от состояния своих водосборных территорий [1]. Оценка состояния водной экосистемы представляет собой не только учет изменения свойств одного какого-либо показателя. Она формируется как результат интегра-

ции многих свойств, среди которых особое значение имеют факторы, характеризующие качество воды и степень эвтрофирования водоема, а также характер и уровень техногенного воздействия. Полученная комплексная информация более полно и точно учитывает синергетический эффект разных химических веществ и влияние многих других факторов на качество воды водных объектов [2; 3].

В Европе и США наиболее распространенным методом оценки различных поверхностных вод является water quality indices (WQIs), расчет которого основан на использовании таких показателей, как температура, pH, мутность, взвешенные вещества,

концентрация фосфатов, нитратов, растворенного кислорода, БПК₅, фекальных колиформ, и его различные модификации [4]. Согласно цели устойчивого развития по питьевой воде и санитарии, общее качество воды оценивается на основе базового набора из пяти параметров по поверхностным водоемам: содержание в воде растворенного кислорода, электропроводность (минерализация), содержание азота, содержание фосфора и pH, которые определяют доброкачественность водного объекта [5]. Для характеристики процессов эвтрофирования и антропогенного загрязнения широко применяется индекс трофического статуса (trophic status indices TSIs) и индекс тяжелых металлов (heavy metal indices HMIs) [6]. В России в настоящее время наиболее широкое распространение получили методы оценивания, основанные на санитарно-гигиеническом, общеэкологическом и гидробиологическом подходе. Среди них можно выделить нормативный подход с использованием ПДК, удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ), комплексную характеристику по трофо-сапробным показателям, комплексную экологическую классификацию поверхностных вод, различные гидробиологические индексы и другие [7]. Несмотря на определенные недостатки, свойственные каждой из множества классификаций, оценка класса качества поверхностных вод по всему комплексу гидрохимических и гидробиологических показателей позволяет учесть многокомпонентность формирования состояния водных объектов [8-10]. Применение различных методов и классификаций оценки состояния водных объектов с использованием комплекса гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических показателей позволяет получить комплексное всестороннее представление о водном объекте и сформировать обоснованные выводы о качестве воды в настоящее время.

Цель исследования – выполнение комплексной оценки состояния вод верховьев Шершневского водохранилища и его притоков в 2021 г.

Материалы и методы исследования

Шершнёвское водохранилище (ШВ) представляет собой искусственный водоем на р. Миасс и является единственным источником питьевого водоснабжения г. Челябинска и всего Челябинского промышленного узла. Водохранилище занимает нижнее положение в каскаде с Аргазинским водохранилищем на р. Миасс. Шершневское водохранилище – среднее по размерам водохранилище руслового типа, объем воды –

176 млн м³, максимальная глубина – 14 м, средняя – 4,5 м. Вдоль берегов водохранилища расположены коллективные сады, жилой частный сектор, городская высотная застройка, места массового отдыха. Формирование качества воды и экосистемы верхнего участка – речного плеса водохранилища происходит за счет вод, которые несет р. Миасс, а также ее приток р. Биргильда, впадающая непосредственно в реку Миасс перед расширением русла реки. Район исследования расположен в верховьях Шершневского водохранилища на участке речного плеса. В данном районе находятся очистные водопроводные сооружения (вблизи пос. Сосновка), подготавливающие и снабжающие питьевой водой городские водопроводные системы. Схема расположения пунктов наблюдения и их характеристика представлена на рисунке.

Для проведения исследования состояния Шершневского водохранилища по гидрохимическим и гидробиологическим показателям выбраны периоды весеннего половодья и летне-осенней межени, так как они являются наиболее важными периодами для характеристики динамики гидрохимического водного режима состояния экосистемы водохранилища. Определение показателей качества воды проводилось в полевых условиях общепринятыми методами экологического мониторинга согласно сертифицированным методикам и в соответствии с действующими нормативными документами.

Аналитическая оценка качества воды верховьев Шершневского водохранилища и степени ее загрязнения, а также биологическая оценка состояния биоценоза в 2021 г. осуществлялась путем сравнения с нормативами ПДК_{рыбхоз} и ПДК_{хоз-пит}. Характеристика качества воды по удельному комбинаторному индексу (УКИЗВ) выполнялась по 17 показателям. Определение видового состава и развития планктонных организмов для характеристики зон сапробности – в соответствии с индексом Пантле-Букка в модификации Сладечека. Оценка трофического состояния водной экосистемы в целом проводилась в соответствии с «Комплексной экологической классификацией качества поверхностных вод суши» (КЭККПВС, Окснюк О.П., Жукинский В.Н. и др., 1993) по показателям: прозрачность по диску Секки, % насыщения кислорода в воде, окисляемость, БПК₅, концентрации аммония, нитратов, нитритов, фосфатов, pH, цветность, взвешенные вещества, фосфор и азот общий, биомасса фитопланктона, а также использовались концентрации токсикантов в воде – железо, медь, марганец, цинк, нефтепродукты, СПАВ [11; 12].



Схема расположения пунктов наблюдения (п.н.) на Шершневском водохранилище

Итоговые результаты оценки качества воды и состояния экосистемы Шершневского водохранилища представлены в таблице.

Результаты исследований и их обсуждение

Отличительной климатической особенностью 2021 года на Южном Урале являлась аномально высокая и длительная температура воздуха выше среднемесячных значений. Температура воды в поверхностном слое воды в пунктах наблюдений (п.н.) в мае 2021 г. колебалась в диапазоне от 16,7 до 19,1°C, в июне достигла 26,4-27,7°C, в июле вода в поверхностном слое притоков и в водохранилище держалась 21,1-21,6°C, а в конце августа прогрелась до 23-24°C.

Анализ воды в п.н. ШВ в 2021 г. показал, что минерализация воды составила 220-226 мг/дм³. Количество взвешенных веществ в воде в половодье составляло 37-47 мг/дм³, в летне-осеннюю межень резко снизилось по сравнению с половодьем. Цветность воды в 2021 г. в конце августа оставалась практически такой же высокой (42-63°), как и в половодье (52-80°).

В период половодья значения по показателю окисляемости перманганатной достигали 5,8 мгО/дм³, значения БПК₅ составили от 2,7 до 3,3 мгО/дм³ в ШВ; при этом ХПК определилось в пределах от 17 до 24 мгО/дм³. Концентрация аммонийного иона в пробах

воды по всем п.н. характеризуется значениями в диапазоне от 0,56 до 0,74 мг/дм³. В половодье 2021 г. по всем п.н. концентрации фосфат-иона не превышали 0,05 мг/дм³. В период половодья в верховьях ШВ отмечены превышения ПДК_{рыбхоз.} в воде БПК₅ в 1,2-1,6 раза, а также аммоний-иона в 1,2-1,48 раза. В пробах п.н.2,3 превышение ПДК_{рыбхоз.} составляло по железу от 2,2 до 3,6 раза, по марганцу во всех п.н. этот норматив превышен в 3-6 раз. Также выявлена кратность превышения по ПДК_{рыбхоз.} содержания меди в воде всех пунктов наблюдения, которая составляет от 4 до 6 раз. При сравнении полученных данных с нормативами хозяйственно-питьевого водопользования следует отметить, что во всех п.н. обнаружено превышение ПДК_{хоз-пит.} по ХПК от 1,13 до 1,93 раза и окисляемости перманганатной в 1,16 раза, по цветности воды превышение норматива составляло от 1,5 до 2,3 раза. Повышенное содержание органики по показателю БПК₅ было в 1,3-1,7 от ПДК_{хоз-пит.}

Значения показателей ХПК и перманганатной окисляемости воды в целом повысились в летне-осеннюю межень по всем п.н. за исключением п.н. 2 по ХПК, а в п.н. 4 и 5 ШВ достигли значений 5,4 и 6,5 мгО/дм³ соответственно. В летне-осеннюю межень концентрация фосфат-иона в воде увеличилась только в п.н. 2 (р. Миасс) до 0,2 мг/дм³

и в п.н.3 и 5 ШВ до 0,12 мг/дм³. В период летне-осенней межени 2021 г. при сравнении полученных данных с нормативами рыбохозяйственного водопользования следует отметить, что превышения были выявлены по концентрации меди, марганца, железа общего в воде и БПК₅. При сравнении полученных данных с нормативами хозяйственного водопользования из перечисленных показателей превышения нормативов были выявлены по ХПК в 1,5-2,4 раза, по БПК₅ в 2,7-3,3 раза, по окисляемости перманганатной в 1,3-2,0 раза, цветности в 1,2-1,8 раза, запаху и мутности во всех пунктах наблюдений.

Численность и биомасса фитопланктона в Шершнёвском водохранилище значительно увеличились к концу августа – началу сентября: в п.н. 3 – численность 91,884 млн кл/дм³, биомасса 5,2 мг/дм³ и содержание хлорофилла «а» 34,5*10⁻³ мг/дм³, в п.н. 4 – численность 129,04 млн кл/дм³, биомасса 8,6 мг/дм³ и содержание хлорофилла «а» 33,32*10⁻³ мг/дм³. В п.н. 5 отмечена самая высокая численность фитопланктона – 139,519 млн кл./дм³, биомасса водорослей составляла 6,84 мг/дм³, при этом содер-

жание хлорофилла «а» 35,67*10⁻³ мг/дм³, что связано со значительным развитием представителей в основном цианобактерий, таких как *Microcystis aeruginosa*, *Oscillatoria agardhii*, *Microcystis aeruginosa*.

Значения УКИЗВ, рассчитанные по рыбохозяйственным нормативам, свидетельствуют о снижении качества воды. Критерии для водоёмов рыбохозяйственного водопользования характеризуют благоприятные или неблагоприятные условия жизни для гидробионтов и, соответственно, будущее экологическое благополучие водного объекта. Во всех пунктах наблюдений УКИЗВ колебалось в диапазоне значений от 2,17 до 2,28, что соответствует 3 классу разряду 3а качества воды и характеризуется как «загрязненная». Критическими показателями загрязнённости воды во всех пунктах наблюдения является медь, а для рек Биргильда, Миасс – марганец. В пробах п.н. 2, 3 превышение ПДК^{рыбохоз.} составляло по железу от 2,2 до 3,6 раза, по марганцу во всех п.н. этот норматив превышен в 3-6 раз. Также выявлена кратность превышения по ПДК^{рыбохоз.} содержания меди в воде всех пунктов наблюдения, которая составляет от 4 до 6 раз.

Сравнительная характеристика качества воды в верховьях Шершневого водохранилища в 2021 г.

Фаза гидрологического режима	Значение показателя в пункте наблюдения (п.н.)				
	п.н. 1 р. Биргильда	п.н. 2 р. Миасс	п.н. 3 ШВ, пос. Смолино	п.н. 4 ШВ, пос. Сосновка	п.н. 5 ШВ, пос. Западный
УКИЗВ					
Весеннее половодье и летняя межень	2,21	2,23	2,28	2,18	2,17
	класс 3 разряд 3а	класс 3 разряд 3а	класс 3 разряд 3а	класс 3 разряд 3а	класс 3 разряд 3а
Индекс сапробности по фитопланктону (Пантле-Букка в модификации Сладечека)					
Весеннее половодье и летняя межень	2,1	1,9	2	2	2
Индекс сапробности по зоопланктону (Пантле-Букка в модификации Сладечека)					
Весеннее половодье и летняя межень	1,5	1,4	1,6	1,5	1,8
Характеристика трофического состояния по КЭКПВС					
Весеннее половодье	мезоэвтрофная	мезоэвтрофная	мезоэвтрофная	мезотрофная	мезоэвтрофная
Летняя межень	мезотрофная	мезотрофная	мезотрофная	мезотрофная	мезоэвтрофная
Характеристика класса качества воды по КЭКПВС					
Весеннее половодье	класс 3 разряд 3а	класс 3 разряд 3а	класс 3 разряд 3а	класс 3 разряд 3а	класс 3 разряд 3б
Летняя межень	класс 3 разряд 3б	класс 3 разряд 3б	класс 3 разряд 3б	класс 3 разряд 3б	класс 4 разряд 4б

Уровень сапробности по индексу Пантле-Букка, рассчитанный для фитопланктона и зоопланктона, свидетельствовал в основном о наличии β-мезосапробных условий в системе «река Биргильда – р. Миасс – верховье Шершневого водохранилища» в 2021 г. Качество воды части акватории Шершневого водохранилища, оценённое по показателям фитопланктона и зоопланктона, соответствовало 3 классу «умеренно загрязненная» по ГОСТ 17.1.3.07-82 в течение всего сезона 2021 г.

В течение летнего периода 2021 г. в зоне верховьев Шершневого водохранилища установились условия, соответствующие переходу от мезотрофного состояния в р. Биргильда и р. Миасс, в п.н. 3 в районе пос. Смолино, п.н. 4 близ пос. Сосновка и к мезоэвтрофному состоянию в п.н. 5 ниже пос. Западный в Шершевском водохранилище.

В соответствии с «Комплексной экологической классификацией качества поверхностных вод суши» по трофо-сапробиологическим и эколого-токсикологическим показателям весной 2021 г. вода во всех пунктах наблюдения относилась к классу 3а -удовлетворительной чистоты, разряду достаточно чистая, кроме п.н. 5 в пос. Западный, где произошло ухудшение качество воды до разряда 3б – слабо загрязненная. К окончанию лета 2021 г. наблюдались негативные изменения качества вод Шершневого водохранилища и его притоков. В р. Биргильда, а также в водохранилище, в п.н. 3 и 4 (пос. Смолино и пос. Сосновка) разряд качества воды сменился на 3б – слабо загрязненная, а в п.н. 5 пос. Западный изменился и класс качества воды на 4 – загрязненная, разряд 4б сильно загрязненная. Наибольший вклад в итоговую оценку качества воды в период летней межени внесли такие факторы, как рН, высокий процент пересыщения воды кислородом, низкая прозрачность, высокая цветность, повышенное содержание органических соединений (соединения фосфора, БПК₅, перманганатная окисляемость), биомасса фитопланктона, а также токсиканты: железо, медь, марганец, цинк, нефтепродукты, СПАВ.

Заключение

Таким образом, приведенная комплексная характеристика состояния верховьев Шершневого водохранилища с использованием различных классификаций позволяет оценить перспективы состояния экосистемы водохранилища, что необходимо в целях сохранения экологического благополучия и, как следствие, эксплуатационных свойств водного объекта. В 2021 г. к окончанию летне-осенней межени Шершевское

водохранилище и его притоки характеризуются накоплением органического вещества в экосистеме, усилением процессов фотосинтеза и интенсификацией процессов биопродуктивности. Приоритетными загрязняющими веществами с токсическим эффектом являются тяжелые металлы. Характеристика качества вод в верховьях водохранилища показала, что воды системообразующей реки Миасс приносят в водохранилище значительные концентрации железа, марганца, меди. В течение летнего периода 2021 г. в зоне верховьев Шершневого водохранилища установились условия, соответствующие переходу от мезотрофного к мезоэвтрофному состоянию его экосистемы.

Комплексный анализ гидрохимических, биохимических и гидробиологических показателей свидетельствует, что в 2021 г. качество воды в верховьях Шершневого водохранилища и его притоках характеризуется 3 классом разрядом 3а качества воды, что соответствует состоянию воды как «загрязненная», и формирует предпосылки ухудшения качества воды питьевого источника г. Челябинска.

Список литературы

1. Качество поверхностных вод Российской Федерации в 2020 году: ежегодник / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. [Электронный ресурс]. URL: <https://gidrohim.com/sites/default/files/%D0%95%D0%B6%D0%B5%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%BA%202020.pdf?ysclid=laf2cjpjnf856502005> (дата обращения: 27.02.2023).
2. Тиленова Д.К. О методиках оценки качества поверхностных вод по гидрохимическим показателям // Известия ВУЗов (Кыргызстан). 2014. № 3. С.43-49.
3. Гавришин А.И. Сравнительный анализ двух методов оценки качества вод // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2021. № 2. С. 57-66. DOI: 10.31857/S086978092102003X.
4. Garcia C., Santos S., Mendonça, M., Garcia H. Evaluation of Water Quality Indices: Use, Evolution and Future Perspectives. *Advances in Environmental Monitoring and Assessment*. 2019. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.intechopen.com/chapters/63689> (дата обращения: 27.02.2023). DOI: 10.5772/intechopen.79408.
5. Khodorovskaia N., Yachmenev V., Kravtsova A., Kraïneva S., Deryabina L. Ecological well-being of water sources as a factor of an industrial city sustainable development. *E3S Web of Conferences*. 2021. № 258. URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2021/34/e3sconf_uesf2021_08007.pdf (дата обращения: 27.02.2023). DOI: 10.1051/e3sconf/202125808007.
6. Yan T., Shen S.-L., Zhou A. Indices and models of surface water quality assessment: Review and perspectives. *Environmental Pollution* (2022). № 308. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749122008259?via%3Dihub> (дата обращения: 27.02.2023). DOI: 10.1016/j.envpol.2022.119611.
7. Шитиков В.К. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти: Самарский научный центр РАН, 2003. 463 с.

8. Кочетова Ж.Ю., Лазарев И.С., Базарский О.В., Внукова С.В. Методика оценки качества поверхностных вод по приоритетным загрязнителям // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. 2022. № 3. С. 268-280.

9. Бакаева Е.Н. Проблемы оценки качества поверхностных вод // Степная Евразия –устойчивое развитие: сборник материалов международного форума (Ростов-на-Дону, 27–30 сентября 2022 года). Ростов н/Д.: Южный федеральный университет, 2022. С. 117-119.

10. Зубарев В.А. Гидрохимические индексы оценки качества поверхностных вод // Региональные проблемы. 2014. № 2. С. 71-77.

11. Р 52.24.763-2012 Оценка состояния пресноводных экосистем по комплексу химико-биологических показателей. Ростов н/Д.: ФГУ ГХИ, 2012. 22 с.

12. РД 52.24.643-2002 Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. Ростов н/Д.: ФБГУ ГХИ, 2011. 50 с.

УДК 631.4

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОЧВОГРУНТОВ ОБСОХШЕЙ ЧАСТИ АРАЛЬСКОГО МОРЯ

Эгамбердиев Ж.А., Абдурахмонов Н.Ю.

*Научно-исследовательский институт Почвоведения и агрохимии, Ташкент,
e-mail: jamolbek1986@mail.ru*

В данной статье приведены новые материалы о современном состоянии гранулометрического состава изученных почвогрунтов на основе результатов научных исследований, проведенных на песчано-пустынных, гидроморфных и полугидроморфных песчано-пустынных почвах, остаточных приморских автоморфных солончаках, приморских полуавтоморфных солончаках, распространенных на территории обсохшего дна Аральского моря, а также сведения о глубине, уровне и типе минерализации грунтовых вод этих почвогрунтов. Данные, собранные по результатам исследований, показывают, что в районе Устюрта уровень залегания грунтовых вод распределяется на участках глубиной 1,3-1,4 метра. В грунтовых водах почв данной территории содержится 20-21 г/л солей, тип минерализации сульфатно-хлоридно-магниевно-натриевый. Здесь в основном формировались гидроморфные песчаные почвы. В средних слоях песчаных почв наблюдались фрагменты морского дна, покрытые мелким почвенным илом. Песчано-пустынные почвы обсохшего дна Аральского моря по гранулометрическому составу в основном суглинистые и супесчаные, а также верхние пахотные горизонты по почвенному профилю некоторых разрезов состоят из легких суглинков, содержание частиц физической глины (<0,01 мм) в легких суглинках составляет 23,6-29,0%, в супесях 10,2-19,5% и в песках 4,9-9,1%, причем в этих почвах преобладают крупные частицы песка, также выявлено, что по почвенному профилю его содержание увеличивается до 70,4%.

Ключевые слова: Аральское море, песчаные пустынные почвы, гидроморфные, полугидроморфные песчаные пустынные, полуавтоморфные, механический состав, минерализация, полевые исследования

PARTICULAR COMPOSITION OF SOILS IN THE DRY PART OF THE ARAL SEA

Egamberdiyev J.A., Abdurahmonov N.Yu.

Research institute of soil science and agrochemistry, Tashkent, e-mail: jamolbek1986@mail.ru

In this article, based on the results of scientific studies carried out in sandy-desert, hydromorphic and semi-hydromorphic sandy-desert soils, residual coastal automorphic outcrops, semi-automorphic outcrops in areas of the dry bottom of the Aral Sea, the current state of the granulometric composition of soils is considered, and the soils in these soils are obtained new information about the depth, level and type of groundwater mineralization. The data collected from the survey results show that in the Ustyurt region, the groundwater level is distributed in areas with a depth of 1,3-1,4 meters. Groundwater in this area contains 20-21 g / l of salts, the type of mineralization is sulfate-chloride-magnesium-sodium. Hydromorphic sandy soils are mainly formed on these lands. In the middle layers of sandy soils, fragments of the seabed were observed, covered with fine ground silt. Dry bottom sandy desert soils of the Aral Sea are mainly loamy and sandy in terms of particle size distribution, and also consist of light sands in the upper arable layers of the soil profile in some areas, the number of particles of physical clay (<0,01 mm) in light sands is 23,6 -29,0%, in loams 10,2-19,5% and in sands 4,9-9,1%, moreover, large sand particles predominate in these soils, and its amount increases to 70,4% along the soil profile.

Keywords: Aral Sea, sandy desert soils, hydromorphic, semi-hydromorphic sandy desert, semi-automorphic, mechanical composition, mineralized, field studies

На сегодняшний день изменение климата – явление, которое признано в качестве неопровержимого факта мировым сообществом. Основными причинами этих изменений являются аномальные явления, происходящие в природе, и усиление антропогенной нагрузки. Негативные изменения, происходящие в мире в результате глобального изменения климата, охватили многие страны. Особенно в районах с дефицитом водных ресурсов процессы опустынивания, являющиеся следствием изменения климата, развиваются стремительно.

Центральная Азия, в частности и Узбекистан, не свободны от таких проблем из-за своего географического расположения, климата и сложности рельефа. В результате перераспределения речных вод под воздей-

ствием антропогенных, т.е. человеческих факторов, Аральская трагедия произошла со второй половины прошлого века. В свое время, с 1960-х до конца 1990-х годов, Аральское море, которое было четвёртым крупнейшим озером мира по величине, потеряло 90% своего объема [1; 2].

Быстрое высыхание Аральского моря привело к глобальным изменениям всех природных условий, в том числе к изменению почвенного покрова. Начался процесс образования примитивных почв на различных морских отложениях, песчаных, суглинисто-песчаных, суглинистых, глинистых породах, вышедших на обсохшее морское дно. Но отложения с легким механическим составом привели к усилению здесь дефляционных процессов. В резуль-

тате начались разноситься соляные пыли к территориям Приаралья, в том числе и к орошаемым землям [3; 4].

Согласно научным источникам, из обсохшего дна Аральского моря, где всегда дуют сильные ветры и циклоны, поднимается более 75 миллионов тонн песка, а также 65 миллионов тонн мелкодисперсной пыли и солей. Это приводит к снижению продуктивности пастбищ и урожайности пропашных культур. Ежегодно на орошаемые земли низовья Амударьи и Сырдарьи попадает 100 миллионов тонн солей и песка [5; 6].

В Стратегии действий по развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 годы определены важные задачи «...смягчения негативного воздействия глобального изменения климата и высыхания Аральского моря на развитие сельского хозяйства и жизнедеятельность населения».

В 2017 году Президент Республики Узбекистан выступил на первом Научно-техническом саммите Организации Исламского сотрудничества, который прошел в городе Астана Республики Казахстан, и на 72-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН, в очередной раз обратив внимание всего мирового сообщества на одну из самых острых экологических проблем современности – экологическую трагедию Арала, подчеркнув, что устранение последствий высыхания моря требует активных международных усилий.

Кроме того, постановлением Президента Республики Узбекистан № ПП-3975 от 16 октября 2018 года «Об образовании международного инновационного центра Приаралья при президенте Республики Узбекистан» предусмотрено расширение сферы научных исследований и практической работы на засоленных землях обсохшей части Аральского моря для оздоровления экосистемы и в целях обеспечения достойной жизнедеятельности, внедрения передового опыта исследований и инноваций, также был предусмотрен комплекс мер, таких как инновационные технологии и подходы, в том числе агролесомелиоративные, преобразование пустыни в лесопосадки, биоэнергетика, диверсификация культур, комплексное возделывание культур, улучшение состояния пастбищ, развитие животноводства, борьба с засухой и смягчение ее последствий, определение адаптации к изменению климата. В этом отношении определение гранулометрического состава почвогрунтов обсохшей части Аральского моря является одним из приоритетных вопросов при реализации вышеуказанных задач.

Целью исследования является оценка современного состояния гранулометрическо-

го состава почв обсохшей части Аральского моря, а также изучение глубины, уровня и типа минерализации грунтовых вод этих почв.

Материал и методы исследования

Исследования проводились в обсохшей части Аральского моря Республики Каракалпакстан. Объектами исследования послужили песчаные пустынные, гидроморфные и полугидроморфные песчаные пустынные почвы, остаточные приморские автоморфные солончаки, полуавтоморфные приморские солончаки.

Вся проводимая исследовательская работа основана на полевых, лабораторных и камеральных работах. При изучении почв в полевых условиях использованы сравнительно-географические и генетические методы. В полевых условиях изучены и проанализированы морфологические особенности почв [7].

Определение гранулометрического состава образцов почвогрунтов, отобранных в полевых условиях, проводили в лабораторных условиях по пипеточному методу Н.А. Качинского.

Результаты исследования и их обсуждение

На обсохшем дне Аральского моря почвообразование происходит в очень сложных гидротермических условиях, над гидрогеологически сильно засоленными породами формируются отдельные типы морских солончаков. Они делятся на автоморфные, гидроморфные и переходные. Помимо приморских солончаков, здесь развивается комплекс пустынных песчаных почв и песков. Пустынные песчаные почвы, сформировавшиеся в окатанных и плоских песках, развиваются в автоморфных условиях. В статье представлен анализ данных, полученных по изучению песчаных пустынных почв, гидроморфных и полугидроморфных песчаных пустынных почв, остаточных приморских солончаков, приморских полуавтоморфных солончаков обсохшей части Аральского моря, также отмечено, что на территории распространены и приморские полугидроморфные солончаки, приморские гидроморфные солончаки и комплекс песчаных солончаков массива Акпетка.

Гранулометрический состав почв по-разному влияет на их физические, водно-физические, физико-химические, физико-механические, агрохимические и биологические свойства. Способность почвы удерживать воду, ее подъем по капиллярам, водопроницаемость (фильтрация) также напрямую связаны с гранулометрическим составом почвы. Гранулометрический состав опре-

деляет количественные критерии и балансы влаги, тепла, режимов питания, гумуса и элементов питания, которые жизненно необходимы для растений. Гранулометрический состав почвы имеет значение также при перемещении, перераспределении и накоплении воднорастворимых солей по почвенному профилю в вертикальном и горизонтальном направлениях, следовательно, при анализе процессов соленакопления и вторичного засоления на орошаемых землях, а также при оценке мелиоративно-экологического состояния орошаемых почв особое внимание уделяется изучению гранулометрического состава почвы. В то же время он рассматривается как один из основных факторов засоления почв.

Почвы объектов исследования имеют различный гранулометрический состав, что связано с генезисом коренных пород, слагающих почвы. Количество механических фракций разной крупности в аллювиальных отложениях Амударьи колеблется в широких пределах: наибольшее количество песчаных фракций и наименьшее количество глинистых фракций наблюдается в песках, суглинках и частично в легких суглинках, наибольшее количество глинистых фракций и наименьшее количество песчаных фракций обнаружено в тяжелых аллювиях, т.е. в почвах с тяжелым механическим составом.

Автоморфные песчаные пустынные почвы. Эти почвы распространены в массивах Аджибай-Аккала-Узункаир, а уровень грунтовых вод в этих участках ниже 5 метров. Верхняя часть больших участков песчаных дюн богата ксерофитными растениями высотой 1-2 метра, особенно верхняя часть почвенного профиля, покрытая саксаулами и полынями, богата корнями растений. Максимальное количество корней находится под скопившимся песком, образовавшимся слоем от 3,5 до 15-20 см. Корни и остатки растений можно наблюдать и на глубине 1,5-2 м.

Песчаные пустынные почвы обсохшего дна Аральского моря по гранулометрическому составу в основном суглинистые и песчаные, а также в верхних пахотных слоях по почвенному профилю некоторых разрезов легкосуглинистые, количество частиц физической глины (<0,01 мм) в легких суглинках 23,6-29,0%, в супесях 10,2-19,5% и в песках 4,9-9,1%. В этих почвах преобладают крупные частицы песка, количество которых увеличивается по профилю до 70,4% (табл. 1).

Гидроморфные и полугидроморфные песчаные пустынные почвы. На западном берегу бывшего Аджибойского залива и вблизи Устюрта подземные воды распро-

странены на участках, где уровень залегания грунтовых вод составляет 1,3-1,4 метра. Подземные воды данной территории содержат 20-21 г/л солей, тип минерализации сульфатно-хлоридно-магниевонариевый. Здесь в основном сформированы гидроморфные песчаные почвы. В средних слоях песчаных почв наблюдаются фрагменты морского дна, покрытые мелким грунтовым илом. Они защищают песчаные отмели от ветровой эрозии. Профиль мелкопочвенного слоя, склонного к иловатости, неустойчив, и при его исчезновении пески обнажаются, разносятся ветром, формируются верхние песчаные слои.

Однако, несмотря на сильный ветер, не формируются очень глубокие и крупные очаги дефляции. Здесь встречается эоловая форма аккумулятивно-эрозионного (эрозионно-аккумулятивный) рельефа. В песках встречаются псаммофиты и засохшие формы молодого саксаула. По механическому составу песчано-пустынные почвы состоят из связанных песков и суглинков. Пески имеют цвет ближе к красной окраске. В средней части профиля встречается бурая рожь, а в нижних горизонтах – голубые следы. Мелкоземный горизонт, обнаруженный в почвенном профиле, не очень мощный. В песках и суглинках преобладает крупная фракция песка.

В исследованных гидроморфных песчаных почвах пустыни преобладают крупнопесчаные частицы (>0,25 мм), их количество в почвенном профиле составляет 25-73%, средnepесчаные частицы (0,25-0,1 мм) 6-19%, мелкопесчаные частицы (0,1-0,05 мм) 1-17%, количество крупнопылеватых частиц (0,05-0,01 мм) от 0,6% до 14%, среднепылеватых частиц (0,01-0,005 мм) 1,5-24,3% и мелкопылеватых частиц (0,005-0,001 мм) колеблется в пределах 1,0-7,4%, при этом иловатые частицы (<0,001 мм) наблюдаются в средних слоях почвенного профиля, и их содержание составляет 1,0% (табл. 1).

В исследованных полугидроморфных песчаных пустынных почвах преобладают крупные частицы песка (>0,25 мм), их содержание в почвенном профиле составляет 17-65%, средnepесчаные частицы (0,25-0,1 мм) составляют 6-13%, мелкопесчаные частицы (0,1-0,05 мм) 2-30%, крупнопесчаные частицы (0,05-0,01 мм) составляют 6-29%, средnepесчаные частицы (0,01-0,005 мм) 1-15% и мелкопесчаные частицы (0,005-0,001 мм) в пределах от 1,5-16,6%, максимальное количество пылеватых частиц (<0,001 мм) в этих почвах приходится на средний и нижний слои, а его количество составляет до 6,2% (табл. 1).

Таблица 1

Гранулометрический состав песчаных пустынных почв
обсохшего дна Аральского моря

№ разреза	Глубина горизонта, см	Содержание почвенных частиц в %, размер в мм							Физическая глина	Название механического состава
		>0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	0,001	<0,01 мм	
Автоморфные песчаные пустынные почвы										
8	0-12	40,4	10,1	17,9	8,0	13,8	4,4	5,4	23,6	Легкий суглинок
	12-23	54,0	13,5	6,5	11,8	7,3	2,2	4,7	14,2	Супесь
	23-32	70,0	18,0	2,2	4,9	2,5	2,4	-	4,9	Песок
	32-44	45,6	11,4	27,6	6,8	4,6	3,4	0,6	8,6	Песок
	44-54	68,0	17,0	4,7	2,1	4,8	3,2	0,2	8,2	Песок
	54-73	40,0	10,0	16,0	18,7	9,9	4,6	0,8	15,3	Супесь
	73-146	56,8	14,2	10,1	8,5	3,5	7,0	0,3	10,4	Супесь
12	0-21	50,0	11,0	1,3	18,2	14,8	4,7	-	19,5	Супесь
	21-34	56,0	14,0	3,7	7,3	7,0	11,7	0,3	19,0	Супесь
	34-52	56,0	14,0	1,4	19,5	3,6	5,3	0,2	9,1	Песок
	52-63	52,0	13,0	9,6	9,6	10,7	5,1	-	15,8	Супесь
	63-144	52,5	13,0	8,9	9,3	4,5	10,2	1,6	16,3	Супесь
Гидроморфные песчаные пустынные почвы										
9	0-40	72,0	18,0	3,1	0,6	2,7	3,6	-	6,3	Песок
	40-51	71,0	17,8	1,3	2,5	4,8	2,6	-	7,4	Песок
	51-96	24,8	6,2	22,7	14,0	24,3	7,4	0,6	32,3	Средний суглинок
22	0-13	72,0	16,8	0,8	3,0	6,5	0,9	-	7,4	Песок
	13-39	72,6	18,8	4,0	1,7	1,5	1,4	-	2,9	Песок
	39-73	48,4	12,1	16,9	12,1	6,9	2,6	1,0	10,5	Супесь
Полугидроморфные песчаные пустынные почвы										
11	0-21	65	13	4,2	5,7	8,2	3,9	-	12,1	Супесь
	21-44	53,2	12,3	9,5	15,8	0,6	6,3	0,3	9,2	Песок
	44-63	27,5	6,7	11,8	26,9	15,3	9,0	2,8	27,1	Легкий суглинок
	63-80	22,0	5,5	29,6	19,1	14,6	7,6	1,6	23,8	Легкий суглинок
	80-130	40,0	10,0	1,7	29,2	9,7	8,8	0,6	19,1	Супесь
18	0-48	52,4	13,1	8,9	14,3	7,7	2,4	1,2	11,3	Супесь
	48-69	52,8	13,2	14,5	11,1	6,1	1,5	0,8	8,4	Песок
	69-77	22,8	5,7	20,7	27,6	8,0	10,9	4,3	23,2	Легкий суглинок
	77-100	24,0	6,0	27,4	18,9	8,7	10,5	4,5	23,7	Легкий суглинок
	100-150	17,6	4,4	16,4	27,7	11,1	16,6	6,2	33,9	Средний суглинок

Таблица 2

Механический состав остаточных приморских солончаков
обсохшего дна Аральского моря

№ разреза	Глубина горизонта, см	Содержание почвенных частиц в %, размер в мм							Физическая глина	Название механического состава
		>0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	0,001	<0,01 мм	
2	0-13	13,6	3,4	16,5	35,1	12,8	9,9	8,7	31,4	Средний суглинок
	13-21	2,4	0,6	3,8	37,2	30,3	13,1	12,6	56,0	Тяжелый суглинок
	21-43	1,6	0,4	6,5	31,9	31,1	18,5	10,0	59,6	Тяжелый суглинок
	43-71	1,2	0,3	8,2	21,7	26,8	30,0	11,8	68,6	Глина
	71-150	2,4	0,6	9,0	27,4	31,6	21,7	7,3	60,6	Глина
1	0-20	29,6	7,4	29,0	16,6	6,1	6,3	5,0	17,4	Супесь
	20-44	32,4	8,1	24,3	17,3	11,3	4,6	2,0	17,9	Супесь
	44-64	34,8	8,7	7,3	19,6	16,1	3,5	-	19,6	Супесь
	64-76	24,4	6,1	9,4	19,3	21,1	13,5	6,2	40,8	Средний суглинок
	76-91	52,0	13,2	2,6	17,1	5,1	6,3	3,7	15,1	Супесь
35	0-23	52,8	13,2	12,9	15,4	2,6	0,9	2,2	5,7	Песок
	23-38	4,8	1,2	25,5	54,0	6,5	4,2	3,8	14,5	Супесь
	38-50	20,0	5,0	5,7	50,8	8,4	6,5	3,6	18,5	Супесь
	50-71	0,8	0,2	18,3	37,1	22,3	11,8	9,5	43,6	Средний суглинок
	71-83	15,6	3,9	15,0	52,1	7,7	3,0	2,7	13,4	Супесь
	83-115	1,2	0,3	37,0	26,9	22,6	7,7	4,3	34,6	Средний суглинок
	115-134	1,6	0,4	13,2	63,1	12,2	3,6	5,9	21,7	Легкий суглинок
	134-158	0,8	0,2	1,7	38,1	30,8	18,1	10,3	59,2	Тяжелый суглинок

Остаточные морские аутоморфные солончаки. Эти солончаки расположены в южной части обсохшего дна Аральского моря и являются естественным продолжением аллювиальной дельты Амударьи. В некоторых местах встречается много ракушек. Аллювиальные отложения, слагающие профиль солончаков, в основном состоят из глинистых, тяжелых и среднесуглинистых гранулометрического состава, на отдельных разрезах встречаются также супесчаные и песчаные слои.

В механическом составе почвы по всему профилю крупнопылеватых частиц больше, также встречаются вместе с иловатыми частицами (табл. 2). В результате обсыхания объем почвенных грунтов сильно уменьшается, формируются трещины.

Приморские полуавтоморфные солончаки. Такие солончаки развиваются в условиях пониженной влажности почвы в результате снижения уровня воды. В связи с понижением уровня грунтовых вод на 3,5-5 м полугидроморфные условия почвообразования переходят в полуавтоморфные. Минерализация подземных вод колеблется от 19 до 72 г/л, тип минерализации хлоридный и магниевое-натриево-сульфатно-хлоридный.

На обсохшем дне Аральского моря полуавтоморфные приморские солончаки распространены в основном в краевых частях прибрежной зоны. Здесь верхняя часть дна плоская и состоит из мелких песчаных дюн в зонах ветровой эрозии. Растительный покров состоит из редко высохшей полыни, молодого саксаула и тамарикса.

Таблица 3

Механический состав приморских полуавтоморфных солончаков
обсохшего дна Аральского моря

№ разреза	Глубина, см	Содержание почвенных частиц в %, размер в мм							Физическая глина	Название механического состава
		>0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	0,001	<0,01 мм	
39	0-25	8,0	2,0	12,3	23,8	28,4	20,1	5,4	53,9	Тяжелый суглинок
	25-57	1,2	0,3	29	31,7	9,9	24,4	3,5	37,8	Средний суглинок
	57-72	1,6	0,4	10,7	30,7	20,8	15,1	20,7	56,6	Тяжелый суглинок
	72-91	11,2	2,8	20,2	53,3	6,6	2,8	3,1	12,5	Супесь
	91-135	1,6	0,4	8	31,9	32,3	17,6	8,2	58,1	Тяжелый суглинок
	135-164	2,0	0,5	8,5	32,3	26,4	24	6,3	56,7	Тяжелый суглинок
5	0-11	27,6	6,9	22,9	31,9	-	-	-	10,7	Супесь
	11-30	12,4	3,1	20,3	36,9	-	-	-	27,3	Легкий суглинок
6	0-17	70	18	2,2	6,0	2,0	1,8	0,0	3,8	Песок
	17-61	44,4	11,1	7,5	5,2	17,4	6,3	8,1	31,8	Средний суглинок
	61-115	26,4	6,6	13,6	21,1	20,1	10,1	2,1	32,3	Средний суглинок
	115-158	70	15	1	4,6	4,6	2,4	2,4	9,4	Песок

В верхней части грунта много морских раковин. Профиль полуавтоморфных солончаков вдоль моря разнообразен по механическому составу. Верхний полуметровый слой почвы состоит из глинистых и песчаных отложений, а в некоторых случаях верхняя часть покрыта малопрочными легкими суглинками и песками. Средняя часть профиля сложена легкосуглинистыми и глинистыми, тяжелыми дугообразными прослоями (табл. 3).

Заключение

В обсохшей части Аральского моря полнопрофильные почвы не развиты. Здесь можно выделить примитивные, слаборазвитые автоморфные, полугидроморфные и гидроморфные песчано-пустынные почвы и остаточные приморские солончаки, полуавтоморфные, полугидроморфные и гидроморфные солончаки. На большей части территории выделяется комплекс песчаных солончаков и глинистых солончаков. Складывающийся здесь почвенный профиль не расслоен на генетические горизонты.

Содержание гумуса и питательных веществ значительно меньше количества, характерного для почв пустынных зон.

В современный период среди элементарных почвенных процессов большую роль здесь играют процессы соленакопления, а также почвенно-грунтовые эрозионные (дефляционные) процессы с легким механическим составом.

Проводимые в регионе научные исследования имеют важное значение при определении мероприятий, направленных на предотвращение негативных процессов и смягчение последствий, вызванных высыханием Аральского моря в условиях глобального изменения климата. В этом отношении определение гранулометрического состава почвогрунтов для проведения фитомелиоративных работ в целях улучшения экологического и мелиоративного состояния почв имеет важное значение, потому что гранулометрический состав непосредственно влияет на физические, физико-химические, физико-механические, агрохимические, биологические свойства

почвы, а также на нормальный рост и развитие растений на участках, где созданы зеленые покровы.

Список литературы

1. Ахмедов А.У., Паршиев Г.Т., Турдалиев Ж.М. Современное мелиоративно-экологическое состояние гидроморфных почв нижнего течения Амударьи // Почвоведение стоит на службе экологической и продовольственной безопасности страны: сборник статей республиканской научно-практической конференции. Ташкент, 2017. С. 139-141.
2. Богданова Н.М., Костюченко В.П. Засоленность почвогрунтов осушившегося дна Аральского моря // Известия АН СССР. Серия: география. 1978. № 2. С. 33-45.
3. Исмонов. А.Ж. Характеристика засоленных почв низовий р. Амударья // Современные тенденции развития аграрного комплекса: сборник научных статей Международной научно-практической конференции. ФГБНУ "Прикаспийского НИИ аридного земледелия". Астрахань, 2016. С. 344-348.
4. Рафиков В.А. Вопросы улучшения мелиоративного состояния орошаемых земель дельты Амударьи в условиях их опустынивания // Информация Общества географии Узбекистана. 2013. № 41. С. 106-111.
5. Rafikov V., Mamadganova G. The forecast of changes of hierological and hydrochemical conditions of Aral sea. Editorial office for Journal of Geodesy and Geodynamics. 2014. V. 2. P. 16-23.
6. Rafikov V.A., Rakhmatullaev K.L. The Aral sea aquatic area dynamics according to remote sensing data. European conference on Innovations in Technical and Natural Sciences. Proceedings of the 12th International scientific conference. Vienna. 2016. P. 104-110.
7. Кузиев Р., Абдурахмонов Н., Исмонов А. Инструкция по проведению почвенных изысканий и составлению почвенных карт для ведения государственного земельного кадастра. Ташкент, 2013. С. 13-29.

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 57.062:57.063

**МЕХАНИЗМЫ СНИЖЕНИЯ СОЛЕВОГО СТРЕССА У РАСТЕНИЙ
ПРИ ПОМОЩИ СОЛЕУСТОЙЧИВЫХ БАКТЕРИЙ,
ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ГАЛОФИТОВ****Аликулов Б.С.***Самаркандский государственный университет имени Шарофа Рашидова, Самарканд,
e-mail: balikulov87@gmail.com*

В статье приведены аналитические данные по опубликованным в последние годы в современных научных источниках сведениям о механизмах, по которым эндофитные бактерии галофитных растений могут развиваться под влиянием засоления растений. Галотолерантные бактерии способны расти в средах с широким диапазоном солёности, от 1 до 33% NaCl, а также в отсутствие NaCl. Поэтому они хорошо подходят для выращивания в ризосфере галофитов, где часто бывает низкий водный потенциал из-за солевого стресса в сухом климате. Интересно, что PGPR и эндофитные бактерии, выделенные из экстремальных условий окружающей среды, сохраняют свои черты стимуляции роста растений. Согласно анализу к этим механизмам относятся продукция АЦК-деаминазы, продукция фитогормонов, продукция нерастворимых фосфатов, продукция сидерофоров, фиксация азота, повышение уровня антиоксидантов, накопление совместимых растворённых веществ, производство экзополисахаридов, производство галоцинов и биологический контроль фитопатогенов. Проанализированные данные показывают, что эндофитные бактерии в будущем могут быть использованы при возделывании сельскохозяйственных культур на засоленных территориях и служат основой для проведения исследований в этом направлении в больших масштабах.

Ключевые слова: галофит, эндофит, бактерия, механизм, фитогормон, сидерофор, антиоксидант, фитопатоген**MECHANISMS OF SALT STRESS REDUCTION IN PLANTS USING
SALT-RESISTANT BACTERIA ISOLATED FROM HALOPHYTES****Alikulov B.S.***Samarkand State University named after Sharof Rashidov, Samarkand,
e-mail: balikulov87@gmail.com*

The article presents analytical data on the information published in recent years in modern scientific sources on the mechanisms by which endophytic bacteria of halophytic plants can develop under the influence of plant salinity. Halotolerant bacteria are able to grow in media with a wide range of salinity, from 1 to 33% NaCl, as well as in the absence of NaCl. Therefore, they are well suited for cultivation in the halophyte rhizosphere, where there is often low water potential due to salt stress in dry climates. Interestingly, PGPR and endophytic bacteria isolated from extreme environmental conditions retain their plant growth promoting traits. According to the analysis, these mechanisms include ACC deaminase production, phytohormone production, insoluble phosphate production, siderophore production, nitrogen fixation, increased antioxidant levels, and accumulation of compatible solutes. , production of exopolysaccharides, production of halocins, and biological control of phytopathogens. The analyzed data show that endophytic bacteria in the future can be used in the cultivation of agricultural crops in saline areas and serve as the basis for conducting research in this direction on a large scale.

Keywords: halophyte, endophyte, bacterium, mechanism, phytohormone, siderophore, antioxidant, phytopathogen

В последние годы ведутся исследования по разработке применения микробных препаратов на основе активности растительных микроорганизмов в сельском хозяйстве регионов, подверженных воздействию различных стрессовых факторов. В связи с этим одной из важных задач является разработка конкурентоспособных перспективных биотехнологий для практического применения путем исследования эндофитных бактерий некоторых галофитных растений, распространённых на засоленных территориях. При объяснении значения галофитных экстремофильных эндофитных бактерий в повышении солеустойчивости и продуктивности сельскохозяйственных культур важно изучить механизмы повышения ими солеустойчивости растений. Поэтому в данной

статье мы поставили цель проанализировать современные научные источники, опубликованные по данной проблеме. Анализ показал, что механизмы, с помощью которых галофиты повышают солеустойчивость экстремофильных эндофитных бактерий, можно разделить на несколько групп.

1. Продукция АЦК-деаминазы

Этилен является регулятором роста растений и гормоном стресса [1], который продуцируется практически всеми видами растений. Этот газообразный гормон роста играет ключевую роль в физиологических изменениях растений на молекулярном уровне. Производство этилена значительно увеличивается в ответ на экологические стрессы, такие как засуха и засоление.

Избыток этилена угнетает рост корней и, как следствие, ограничивает дальнейший рост растения. Высокий уровень этилена в клубеньках также связан со снижением фиксации N_2 [2]. Хотя производство этилена у корней постоянно регулируется в процессе роста и развития растений [3], снижение уровня этилена, вызванного стрессом, смягчает некоторые последствия стресса для растений [4].

Хотя засоление и вызывает потерю способности продуцировать АЦК-деаминазу, некоторые ризобактерии, стимулирующие рост растений (Plant Growth Promoting Rhizobacteria – PGPR), по крайней мере некоторые солеустойчивые PGPR, выделенные из соленой среды, сохраняют выработку 1-аминоциклопропан-1-карбоксилат (АЦК)-деаминазы на основании данных об их полезных свойствах, помогающих растениям преодолевать солевой стресс за счет снижения уровня этилена. Например, 25 из 140 галотолерантных бактериальных изолятов из прибрежных почв южнокорейского Желтого моря проявляли АЦК-деаминазную активность [5]. Эти бактериальные изоляты принадлежали к родам *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Brevibacterium*, *Corynebacterium*, *Exiguobacterium*, *Halomonas*, *Micrococcus*, *Oceanimonas*, *Planococcus* и *Zhihengliuella*. PGPR и эндофитные бактерии, продуцирующие АЦК-деаминазу, выделенные из соленой среды, облегчали стресс, вызванный засолением, у различных растений. Например, PGPR штаммы *P. fluorescens* N3 и *P. putida* Q7, продуцирующие АЦК-деаминазу, стимулировали рост корней кукурузы в 3,3 раза и ростков кукурузы в 2,3 раза соответственно в условиях засоления по сравнению с неинкулированным контролем. Аналогично, инокуляция бобовых растений ризобиями, продуцирующими АЦК-деаминазу, выделенными из засоленных почв, способствовала образованию клубеньков, а инокуляция растений пшеницы штаммом PGPR *A. brasilense* FP2 из засоленных почв приводила к снижению экспрессии растительной АЦК-оксидазы [6].

Значительное внимание уделялось выделению солеустойчивых PGPR, продуцирующих АЦК-деаминазу, для их использования для стимулирования роста растений в засоленных средах. Методы выделения таких PGPR хорошо известны. Быстрый и эффективный подход к их выделению заключается в использовании основанного на полимеразной цепной реакции (ПЦР) скрининга гена *acdS*, кодирующего АЦК-деаминазу, в сочетании с колориметрическим анализом нингидрина для измерения АЦК [7]. Интересно, что недавние резуль-

таты показывают, что эндофитные бактерии более способны продуцировать фермент АЦК-деаминазу, чем PGPR, выделенные из других мест обитания, включая поверхности листьев и корней, а также из неризосферной почвы [8].

2. Продуцирование фитогормонов

Фитогормоны регулируют защитную реакцию растений на биотические и абиотические стрессы, а также развитие и устойчивость к различным экологическим стрессам, в том числе к засолению. Реакция растений на солевой стресс включает ряд изменений на молекулярном, биохимическом и физиологическом уровнях [9] и зависит от условий окружающей среды, свойств почвы и стадии роста растений. Предыдущие исследования [10] показывают, что соленость может либо уменьшать (300 мМ NaCl), либо увеличивать (100 мМ NaCl) эндогенные уровни ИУК в корнях. Растения также могут реагировать на экзогенные фитогормоны, и они могут уменьшать неблагоприятное воздействие засоления [11]. Таким образом, экзогенное применение фитогормонов и их предшественников обеспечивает привлекательный подход к противодействию солевым стрессам за счет изменения баланса эндогенных уровней гормонов. Это было проиллюстрировано в исследовании, показывающем, что обработка семян пшеницы ИУК уменьшает пагубное воздействие солевого стресса на рост пшеницы. В дополнение к стимуляции роста корневой системы, которая может повысить рост и солеустойчивость, ИУК может способствовать поддержанию роста листьев, что помогает предотвратить ограничение продуктивности растений, вызванное засолением. Также сообщалось, что ИУК усиливает защиту бактериальных клеток от абиотических стрессов, таких как высокие концентрации солей [12].

PGPR и эндофитные бактерии могут усиливать рост растений частично, путем модуляции гормонального баланса растений [13]. Продукция ИУК является относительно распространенным признаком большинства солеустойчивых PGPR и эндофитных бактерий, а PGPR, продуцирующие ИУК, могут повышать приспособленность растений, выращенных в засоленных почвах. PGPR и эндофитные бактерии могут улучшать солеустойчивость сельскохозяйственных культур за счет изменения гормональной передачи сигналов от корней к побегам. Ранее сообщалось о способности изменять уровень стресса растений путем предоставления ИУК, которая влияет на развитие боковых корней, для галотолерантных бак-

терий, выделенных из прибрежных почв, корней галофитов в Аргентине, сильнозасоленных местообитаний, галофита *Prosopis strombulifera*, ризосферы галофитных сорняков пакистанского солончака Хевра, галотолерантные растения с прибрежной песчаной отмели Китая и ризосферы *S. annuum*, произрастающего в пустынных районах [14]. Tiwari и др. (2011) продемонстрировали, что инокуляция пшеницы солеустойчивыми штаммами *Halomonas* sp., продуцирующими ИУК, приводила к более высокому содержанию ИУК в ризосфере обработанных растений по сравнению с контрольными растениями и к усилению роста растений. В другом исследовании штамм *Sinorhizobium meliloti*, продуцирующий ИУК, улучшал рост *Medicago truncatula* в засоленных почвах. Эти исследования ясно показывают, что регулирование продукции ИУК в галофитных и негалофитных растениях эндофитными и ризосферными бактериями может быть важным инструментом в обеспечении солеустойчивости.

Цитокинины (ЦК) также участвуют в развитии устойчивости растений к биотическим и абиотическим стрессам. Продукция ЦК является относительно обычным признаком PGPR и эндофитных бактерий. PGPR могут влиять на концентрацию ЦК в растении путем синтеза ЦК или изменения гомеостаза ЦК в растении [15]. Растения *Platycladus orientalis*, инокулированные штаммом PGPR *B. subtilis*, продуцирующим ЦК, имели повышенный уровень ЦК в побегах и были более устойчивыми к засухе [16]. Повышенный рост растений салата, подвергшихся засухе, инокулированных штаммом *B. subtilis*, продуцирующим ЦК, объясняется модуляцией передачи сигналов ЦК от корня к побегу. Способность PGPR синтезировать ЦК или изменять гомеостаз ЦК растений подчеркивает важность понимания того, как PGPR стимулируют рост и повышают устойчивость растений к засолению.

Гибберелловая кислота (ГК) положительно регулирует деление и удлинение клеток, рост гипокотыля и стебля, а также размер меристемы листьев и корней. Передача сигналов ГК является ключевым фактором ингибирования роста растений в условиях стресса [17].

Абсцизовая кислота (АБК) является важным стрессовым гормоном растений, который синтезируется в ответ на абиотические стрессы и активирует гены, ответственные за стрессоустойчивость [18]. Этот гормон играет важную роль в смягчении стресса от засоления, опосредуя устьичные и, следовательно, фотосинтетические реакции на высокую засоленность. Он также играет

решающую роль во взаимодействиях растений и PGPR. Многие PGPR и эндофитные бактерии продуцируют АБК *in vitro*; к ним относятся *A. brasilense*, *B. licheniformis*, *Novosphingobium* sp., *P. fluorescens*, *Rhodococcus* sp. P1Y и *Variovorax paradoxus* [19].

Жасмоновая кислота также участвует в устойчивости к абиотическим стрессам. Некоторые эндофитные PGPR синтезируют жасмоновую кислоту и салициловую кислоту (СК). Инокуляция растений штаммами PGPR *P. fluorescens* Pf4, *P. aeruginosa* Pag и *B. amyloliquefaciens* LJ02 приводила к повышению эндогенного уровня СК у различных растений. Инокуляция *Vitis vinifera* штаммом PGPR *Burkholderia phytofirmans* PsJN также приводила к накоплению СК, как и инокуляция штаммами PGPR *Promicromonospora* sp. SE188 [20] и *B. amyloliquefaciens* RWL-1 [21], продуцирующими ГК.

Однако роль ИУК, цитокининов, гибберелловой, абсцизовой, салициловой и жасмоновой кислот в физиологии галотолерантности растений указывает на то, что будущие исследования того, как бактериальные изоляты из галофитов влияют на гомеостаз фитогормонов в растениях, могут быть интересными и полезными.

3. Растворение нерастворимых фосфатов

Фосфор является одним из важнейших макроэлементов для растений. Хотя в почвах много органического и неорганического фосфора, доступность фосфора ограничена из-за его присутствия в нерастворимых формах. Принимая во внимание, что фосфор составляет около 0,05 % (по весу) почвы, часто только 0,1 % от общего количества фосфора доступен для растений из-за плохой растворимости и его фиксации в почве. В сельском хозяйстве как на засоленных, так и на плодородных почвах интенсивное земледелие сильно истощает питательные вещества почвы. Использование неорганических NPK-удобрений увеличивает засоление почвы, особенно в сочетании с неправильным орошением. Галотолерантные PGPR, солибилизирующие фосфаты, дают возможность повысить доступность фосфора для растений без повышения уровня засоления почвы. PGPR солибилизирующие фосфаты могут растворять нерастворимые фосфаты с помощью различных механизмов, таких как хелатирование, ионный обмен и подкисление, путем секреции низкомолекулярных органических кислот [22]. В засоленных почвах инокуляция галотолерантными PGPR, солибилизирующими фосфаты, улучшала рост растений и подавляла неблагоприятное воздействие соли. После инокуляции растений *Solanum lycopersicum* бактериями

Achromobacter piechaudii содержание фосфора в растениях и эффективность использования воды увеличивались в условиях солевого стресса. Точно так же инокуляция пшеницы бактериями *B. aquimaris* увеличивала содержание фосфора в растениях в условиях засоления в полевых условиях [23]. Оба исследования предполагают, что PGPR растворяют нерастворимый фосфор в засоленных почвах. Галотолерантные бактерии, выделенные из галофитов, также проявляют фосфат-солюбилизирующую активность. При скрининге ризосферы мангровых зарослей *A. marina* было выявлено 129 бактериальных штаммов, способных растворять каменный фосфат, при этом *Oceanobacillus picturae* способны мобилизовать 97% этого минерала. Показано, что бактерии, выделенные из галофитов, включая *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Azospirillum*, *Vibrio*, *Phyllobacterium* и *O. picturae*, растворяют $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, AlPO_4 и FePO_4 и увеличивают содержание фосфора как в галофитах, так и в гликофитах в условиях солевого стресса. Когда галофиты *S. bigelovii* и *S. bigelovii* инокулировали различными галотолерантными PGPR, включая *Azospirillum*, *Vibrio*, *Bacillus* и *Phyllobacterium*, содержание фосфора в листе увеличивалось [24]. Это повышенное содержание фосфора в тканях растений может помочь смягчить сдерживающие рост эффекты засоления [25].

4. Производство сидерофоров

Железо является микроэлементом, входящим в состав многих ферментов, участвующих в биохимических процессах, включая дыхание, фотосинтез и фиксацию N_2 [26]. Доступность железа в известковых и засоленных натриевых почвах по всему миру очень низкая. Эти почвы подавляют доступность большинства питательных микроэлементов, включая железо, и подавляют рост растений из-за одновременного стресса от засоления и дефицита железа. PGPR и эндофитные бактерии часто секретируют сидерофоры, которые представляют собой небольшие Fe(III)-хелатирующие соединения, которые поглощают железо, а комплексы железо-сидерофоры легко доступны растениям. Сообщалось о производстве сидерофоров галотолерантными PGPR, выделенными из галофитов [27], однако способность этих штаммов повышать доступность железа и других микроэлементов, таких как Zn, Mn и Cu, для растений пока неизвестна.

5. Фиксация азота

Большинство сельскохозяйственных систем зависят от применения экзогенного

азота, так как часто нехватка этого питательного вещества больше всего ограничивает продуктивность. Продуктивность галофитных культур также может быть ограничена недостатком доступного азота в засоленных почвах. Фиксация азота бобовыми растениями более чувствительна к засолению почвы, чем рост растений, а засоление негативно влияет на все этапы формирования и функционирования клубеньков [28]. Засоление может влиять на питание растений азотом и, таким образом, снижать содержание азота в тканях растений, о чем свидетельствует опосредованное засолением подавление поглощения и ассимиляции аммония и нитратов. Как правило, фермеры используют химические удобрения, чтобы компенсировать нехватку азота в почве, однако чрезмерное использование неорганических удобрений может увеличить засоление, сильно ухудшить структуру почвы и изменить состав почвенной микрофлоры. Засоление также приводит к низкой микробной активности почвы из-за осмотического стресса и ионной токсичности. Таким образом, повышение засоленности почвы во многих частях мира ограничивает продуктивность растений и преимущества, получаемые от биологической фиксации N_2 [29]. Солеустойчивые N_2 -фиксирующие PGPR и эндофитные бактерии могут переносить осмотический стресс, продуцируя осмолиты, которые позволяют им поддерживать клеточный тургор и метаболизм [30]. Фиксация N_2 солеустойчивыми бактериями, ассоциированными с корнями галофитов, является важным источником доступного азота в засоленных почвах. Кроме того, эти корни являются источником галотолерантных N_2 -фиксирующих бактерий с потенциалом стимулирования роста растений [31], некоторые из которых усиливают рост галофитов, а также негалофитных культур на засоленных почвах. Потенциальные преимущества биологических фиксаторов азота для галофитов и чувствительных к засолению культур, подчеркивают интерес к изучению галотолерантных PGPR и эндофитных бактерий, фиксирующих N_2 , в качестве потенциальных источников биоудобрений для засоленных почв [32].

6. Повышение уровня антиоксидантов

Активные формы кислорода образуются у растений при возникновении осмотического и солевого стресса. Окисление мембранных белков, липидов или ДНК предотвращается некоторыми ферментами, включая каталазу, супероксиддисмутазу и аскорбатпероксидазу. Микроорганизмы используют аналогичные подходы, чтобы

справиться с окислительным стрессом. Гамилтон и его коллеги в 2012 г. сообщили о продуцировании активных форм кислорода в растениях эндифитными грибами [33]. В более ранних исследованиях предполагалась корреляция между устойчивостью растений к солевому стрессу и снижением активности антиоксидантных ферментов. Поглотители активных форм кислорода включают ферменты: супероксиддисмутазу, каталазу, аскорбат- или тиол-зависимые пероксидазы, глутатионредуктазы, дегидроаскорбатредуктазы и монодегидроаскорбатредуктазы, в дополнение к глутатиону, аскорбату и токоферолу. Они участвуют в удалении активных форм кислорода либо напрямую (супероксиддисмутазы, каталазы, аскорбатпероксидазы), либо опосредованно через регенерацию аскорбата и глутатиона в клетке. Rodriguez и др. (2008) сообщили, что несимбиотические растения *Leymus mollis* (дюнная трава) при постоянном воздействии раствора NaCl 500 ммоль/л сильно увядали и высыхали в течение 7 суток и погибали через 14 суток. В то же время симбиотические растения, зараженные *Fusarium culmorum*, не проявляли симптомов увядания до тех пор, пока не подвергались воздействию раствора NaCl 500 ммоль/л в течение 14 дней [34].

7. Накопление совместимых растворенных веществ

Если ионы Na⁺ и Cl⁻ ограничены в вакуоли растительной клетки, органические растворенные вещества, совместимые с метаболической активностью даже при высоких концентрациях (отсюда «совместимые растворенные вещества»), должны накапливаться в цитозоле и органеллах, чтобы сбалансировать осмотическое давление ионов в вакуоли. Наиболее часто накапливаемыми соединениями являются пролин, глицин-бетаин и сахароза [35].

Накопление органических растворенных веществ является важным механизмом борьбы с осмотическим стрессом, и это также было обнаружено у галофитов. Аминокислота пролин была предметом исследований для понимания повышения солеустойчивости после колонизации растений эндифитами. Однако результаты с арбускулярно-микоризными грибами были неоднозначными и предполагают, что накопление пролина в большинстве случаев является не причиной, а следствием солеустойчивости [36]. Осморегуляция также может быть достигнута с помощью сахаров и бетаинов. Оба были повышены у микоризных растений, и предполагалось, что они участвуют в солеустойчивости [37].

8. Выделение экзополисахаридов

Галотолерантные и галофильные бактерии выделяют экзополисахариды (ЭПС), которые необходимы для прикрепления к поверхности корней или частицам почвы. Они играют важную роль во взаимодействиях бактерий и микробов, клеточных ассоциациях между микроорганизмами и защите растительных тканей от атак бактерий, вирусов и простейших [38]. ЭПС также участвуют в стабилизации структуры почвы и водоудерживающей способности частиц почвы. Инокуляция галофильными бактериями *Halomonas*, *Halobacillus* и *Planococcus* усиливала рост пшеницы, *Sesuvium* и нута в условиях засоления [39].

9. Продуцирование галоцинов

Галоцины представляют собой белковые бактериоцины, продуцируемые чрезвычайно галофильными бактериями и археями. Галоцины подразделяются на два типа: (1) микрогалоцины (пептиды) размером менее 10 кДа и (2) белковые галоцины размером более 10 кДа. Их бактерицидные способы действия имеют широкий спектр, включая ДНК- и РНК-нуклеазную активность, ингибирование транскрипции и трансляции, образование пор и бактериолиз [40]. Все галобактерии и археи нечувствительны к каким-либо конкретным галоцинам. Чувствительные штаммы образуют зону ингибирования на пластине с двойным агаром в ответ на присутствие галоцинов. Halocin H₄ был первым охарактеризованным галоцином из *Haloferax* sp. Галоцины G₁, R₁, A₂, H₆, C₈ и A₄ были изучены на молекулярном уровне [41]. Методы высокопроизводительного секвенирования показали, что галоцины положительно влияют на протеом растения и повышают устойчивость растений к засолению. Бактериоцин турицин 17, продуцируемый *Bacillus thuriengenesis*, дифференциально изменяет протеом арабидопсиса в условиях солевого стресса (200 мМ NaCl). Некоторые растительные белки, участвующие в путях углеродного и энергетического метаболизма, управляются бактериальными сигналами [42].

10. Биологический контроль фитопатогенов

Помимо нарушения физиологии и морфологии растений, засоление почвы повышает восприимчивость растений к патогенам. Болезни растений являются одним из основных препятствий для урожайности, но потенциально их можно контролировать биологически с помощью PGPR и эндифитных бактерий. Биологическая борьба

ба с использованием PGPR и эндофитных бактерий предлагает более экологичный подход к борьбе с болезнями, чем сельскохозяйственные химикаты [43]. Некоторые механизмы, которые PGPR и эндофитные бактерии используют для противодействия вредному воздействию фитопатогенов, включают: 1) синтез одного или нескольких антимикробных метаболитов, многие из которых описаны среди PGPR представителей родов *Bacillus* и *Pseudomonas*. Эти метаболиты могут служить цитотоксическими, противогрибковыми, антибактериальными, фитотоксическими, противогельминтными, противовирусными, антиоксидантными и/или противоопухолевыми агентами [44]; 2) производство ферментов, разрушающих клеточную стенку грибов, таких как липаза, которая может разрушать некоторые липиды, связаные с клеточной стенкой гриба, β -1,3-глюканаза, которая может разрушать углеводы клеточной стенки, хитиназа, которая может разрушать интегральный компонент клеточной стенки грибов – хитин [45], и протеаза, которая может разрушать белки клеточной стенки [46]; 3) конкуренция либо за питательные вещества, либо за места связывания на корнях растений; такая конкуренция может ограничивать рост фитопатогена или связывание с растением, тем самым затрудняя размножение патогена [44]; 4) синтез цианистого водорода, который при производстве биоконтролирующими PGPR, такими как *Rhizobium*, *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Bacillus* и *Aeromonas*, ингибирует цитохром C-оксидазу, а также другие важные металлоферменты; 5) активация индуцированной системной устойчивости, которая представляет собой механизм устойчивости у растений [47] при воздействии на растения определенных микробов, таких как некоторые биоконтролирующие PGPR. При этом растение быстрее и сильнее реагирует на последующую атаку патогена. Индукция системной устойчивости обеспечивает сильную защиту, координируемую сигнальными путями фитогормонов [48]; 6) подавление кворума, то есть нарушение передачи сигналов между патогенами. Это может происходить за счет продукции ферментов, разрушающих сигнал, таких как лактоназа, и последующая потеря и нарушение передачи сигнала может минимизировать вирулентность патогена; 7) синтез сидерофоров, которые могут предотвращать или снижать пролиферацию патогенов за счет уменьшения количества железа, доступного для патогенов [49]. Было обнаружено, что сидерофоры из PGPR, по крайней мере в некоторых случаях, обладают более высоким сродством к Fe^{3+} , чем сидерофо-

ры из грибковых патогенов, что дает PGPR конкурентное преимущество в отношении железа.

Заключение

Галофитные растения – это растения, приспособленные для выращивания в засоленных средах. Эндофитные бактерии, обнаруженные в растениях, имеют большое значение в их развитии под влиянием солевого стресса. Рост растений стимулируется несколькими механизмами, осуществляемыми эндофитными бактериями. Описанные выше механизмы представляют собой некоторые из механизмов стимуляции роста растений эндофитных бактерий. Из приведенных данных видно, что эндофитные бактерии являются одним из важных ресурсов, которые могут быть использованы при возделывании сельскохозяйственных культур для земледелия засоленных территорий, и мы считаем целесообразным их углубленное изучение.

Список литературы

1. Pierik R., Sasidharan R., Voesenek L. Growth control by ethylene: adjusting phenotypes to the environment. *J. Plant Growth Regul.* 2007. No. 26. P. 188–200.
2. Ma W., Penrose D.M., Glick B.R. Strategies used by rhizobia to lower plant ethylene levels and increase nodulation. *Can. J. Microbiol.* 2022. No. 48. P. 947–954.
3. Mayak S., Tirosh T., Glick B.R. Plant growth-promoting bacteria confer resistance in tomato plants to salt stress. *Plant Physiol. Biochem.* 2004. No. 42. P. 565–572.
4. Etesami H., Beattie G.A. Plant-microbe interactions in adaptation of agricultural crops to abiotic stress conditions in Probiotics and Plant Health. Singapore: Springer, 2017. P. 163–200.
5. Siddikee M.A., Chauhan P.S., Anandham R., Han G.H., Sa T. Isolation, characterization, and use for plant growth promotion under salt stress, of ACC deaminase-producing halotolerant bacteria derived from coastal soil. *J. Microbiol. Biotechnol.* 2010. No. 20. P. 1577–1584.
6. Camilios-Neto D., Bonato P., Wassem R., Tadra-Sfeir M.Z., Brusamarello-Santos L.C. C., Valdameri G. Dual RNA-seq transcriptional analysis of wheat roots colonized by *Azospirillum brasilense* reveals up-regulation of nutrient acquisition and cell cycle genes. *BMC Genomics.* 2014. No. 15. P. 378–385.
7. Jasim B., Anish M.C., Shimil V., Jyothis M., Radhakrishnan E.K. Studies on plant growth promoting properties of fruit-associated bacteria from *Elettaria cardamomum* and molecular analysis of ACC deaminase gene. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 2015. No. 177. P. 175–189.
8. Bruto M., Prigent-Combaret C., Muller D., Moënnelocoz Y. Analysis of genes contributing to plant-beneficial functions in plant growth-promoting rhizobacteria and related Proteobacteria. *Sci. Rep.* 2014. No. 4. P. 6261–6268.
9. Ahmad P., Rasool S., Gul A., Sheikh S.A., Akram N.A., Ashraf M. Jasmonates: multifunctional roles in stress tolerance. *Front. Plant Sci.* 2016. No. 7. P. 813–818.
10. Dodd I.C., Pérez-Alfocea F. Microbial amelioration of crop salinity stress. *J. Exp. Bot.* 2012. No. 63. P. 3415–3428.
11. Zahir Z.A., Shah M.K., Naveed M., Akhter M.J. Substrate-dependent auxin production by *Rhizobium phaseoli* improves the growth and yield of *Vigna radiata* L. under salt stress conditions. *J. Microbiol. Biotechnol.* 2010. No. 20. P. 1288–1294.

12. Bianco C., Defez R. Medicago truncatula improves salt tolerance when nodulated by an indole-3-acetic acid-overproducing *Sinorhizobium meliloti* strain. *J. Exp. Bot.* 2009. No. 60. P. 3097–3107.
13. Ilangumaran G., Smith D.L. Plant growth promoting rhizobacteria in amelioration of salinity stress: a systems biology perspective. *Front. Plant Sci.* 2017. No. 8. P. 1768.
14. Marasco R., Rolli E., Ettoumi B., Viganì G., Mapell F., Borin S. A drought resistance-promoting microbiome is selected by root system under desert farming. *PLoS ONE.* 2012. No. 7. P. 484–489.
15. Kapoor R., Kaur M. Cytokinin production by fluorescent *Pseudomonas* isolated from rhizospheric soils of Malus and Pyrus. *Afr. J. Microbiol. Res.* 2016. No. 10. P. 1274–1279.
16. Liu F., Xing S., Ma H., Du Z., Ma B. Cytokinin-producing, plant growth-promoting rhizobacteria that confer resistance to drought stress in *Platycladus orientalis* container seedlings. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2013. No. 97. P. 9155–9164.
17. Magome H., Kamiya Y. Inactivation processes: Gibberellins. *Annual Plant Reviews.* 2016. No. 49. P. 73–94.
18. Sah S.K., Reddy K.R., Li J. Abscisic acid and abiotic stress tolerance in crop plants. *Front. Plant Sci.* 2016. No. 7. P. 571.
19. Cohen A.C., Bottini R., Pontin M., Berli F.J., Moreno D., Boccanlandro H. *Azospirillum brasilense* ameliorates the response of *Arabidopsis thaliana* to drought mainly via enhancement of ABA levels. *Physiol. Plant.* 2015. No. 153. P. 79–90.
20. Kang S.M., Khan A.L., Hamayun M., Hussain J., Joo G.J., You Y.H. Gibberellin-producing *Promicromonospora* sp. SE188 improves *Solanum lycopersicum* plant growth and influences endogenous plant hormones. *J. Microbiol.* 2012. No. 50. P. 902.
21. Shahzad R., Waqas M., Khan A.L., Asaf S., Khan M.A., Kang S.M. Seed-borne endophytic *Bacillus amyloliquefaciens* RWL-1 produces gibberellins and regulates endogenous phytohormones of *Oryza sativa*. *Plant Physiol. Biochem.* 2016. No. 106. P. 236–243.
22. Sharma S.B., Sayyed R.Z., Trivedi M.H., Gobi T.A. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. *Springer Plus.* 2013. No. 2. P. 587.
23. Upadhyay S.K., Singh D.P. Effect of salt-tolerant plant growth-promoting rhizobacteria on wheat plants and soil health in a saline environment. *Plant Biol.* 2015. No. 17. P. 288–293.
24. Banerjee S., Palit R., Sengupta C., Standing D. Stress induced phosphate solubilization By ‘arthrobacter’ sp. and ‘Bacillus’ sp. isolated from tomato rhizosphere. *Aust. J. Crop Sci.* 2010. No. 4. P. 378.
25. Shurigin V., Alikulov B., Davranov K., Ismailov Z. Bacterial endophytes from halophyte black saxaul (*Haloxylon aphyllum* Minkw.) and their plant growth-promoting properties. *J Appl. Biol Biotech.* 2022. Vol. 10. No. 1. P. 45–53.
26. Kobayashi T., Nishizawa N. Iron uptake, translocation, and regulation in higher plants. *Annu. Rev. Plant Biol.* 2012. No. 63. P. 131–152.
27. Abbas G., Saqib M., Akhtar J. Interactive effects of salinity and iron deficiency on different rice genotypes. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2015. No. 178. P. 306–311.
28. Bruning B., Rozema, J. (2013). Symbiotic nitrogen fixation in legumes: perspectives for saline agriculture. *Environ. Exp. Bot.* 2013. No. 92. P. 134–143.
29. Jha B., Gontia I., Hartmann A. The roots of the halophyte *Salicornia brachiata* are a source of new halotolerant diazotrophic bacteria with plant growth-promoting potential. *Plant Soil.* 2012. No. 356. P. 265–277.
30. Yan N., Marschner P., Cao W., Zuo C., Qin W. Influence of salinity and water content on soil microorganisms. *Int. Soil Water Conserv. Res.* 2015. No. 3. P. 316–323.
31. Sharma S., Kulkarni J., Jha B. Halotolerant rhizobacteria promote growth and enhance salinity tolerance in peanut. *Front. Microbiol.* 2016. No. 7. P. 1600.
32. Alikulov B., Shurigin V., Davranov K., Ismailov Z. Plant growth-promoting endophytic bacteria associated with *Halocnemum strobilaceum* (Pall.) M. Bieb and their plant beneficial traits. *Plant Science Today.* 2022. No. 8. P. 44–50.
33. Hamilton C.E., Gundel P.E., Helander M., Saikkonen K. Endophytic mediation of reactive oxygen species and antioxidant activity in plants: a review. *Fungal Divers.* 2012. Vol. 54. No. 1. P. 1–10.
34. Rodriguez R.J., Henson J., Van Volkenburgh E., Hoy M., Wright L., Beckwith F., Kim Y.O., Redman R.S. Stress tolerance in plants via habitat-adapted symbiosis. *ISME J.* 2008. No. 2. P. 404.
35. Munns R., Tester M. Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* 2008. No. 59. P. 651–681.
36. Ruiz-Lozano J.M., Porcel R., Azcon C., Aroca R. Regulation by arbuscular mycorrhizae of the integrated physiological response to salinity in plants: new challenges in physiological and molecular studies. *J Exp Bot.* 2012. Vol. 63. No. 1. P. 4033–4044.
37. Manchanda G., Garg N. Alleviation of salt-induced ionic, osmotic and oxidative stresses in *Cajanus cajan* nodules by AM inoculation. *Plant Biosyst.* 2011. Vol. 145. No. 1. P. 88–97.
38. Abd Allah E.F., Alqarawi A.A., Hashem A., Radhakrishnan R., Asma A., Al-Huqail A.A. Endophytic bacterium *Bacillus subtilis* (BERA 71) improves salt tolerance in chickpea plants by regulating the plant defence mechanisms. *J. Plant Interact.* 2018. No. 13. P. 37–44.
39. Oren A. Halophilic microbial communities and their environments. *Curr. Opin. Microbiol.* 2015. No. 33. P. 119–124.
40. Subramanian S., Souleimanov A., Smith D.L. Proteomic studies on the effects of lipo-chitoooligosaccharide and thuricin 17 under unstressed and salt stressed conditions in *Arabidopsis thaliana*. *Front. Plant Sci.* 2016. No. 7. P. 1314.
41. Vurukonda S.S., Vardharajula S., Shrivastava M., SkZ A. Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. *Microbiol. Res.* 2016. No. 184. P. 13–24.
42. Zhang H., Kim M.S., Sun Y., Dowd S.E., Shi H., Paré P.W. Soil bacteria confer plant salt tolerance by tissue-specific regulation of the sodium transporter HKT1. *Mol. Plant Microbe Interact.* 2008. No. 21. P. 737–744.
43. Etesami H., Alikhani H. *Bacillus* species as the most promising bacterial biocontrol agents in rhizosphere and endorhiza of plants grown in rotation with each other. *Eur. J. Plant Pathol.* 2018. No. 150. P. 497–506.
44. Olanrewaju O.S., Glick B.R., Babalola O.O. Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 2017. No. 33. P. 197.
45. Husson E., Hadad C., Huet G., Laclef S., Lesur D., Lambertyn V. The effect of room temperature ionic liquids on the selective biocatalytic hydrolysis of chitin via sequential or simultaneous strategies. *Green Chem.* 2017. No. 19. P. 4122–4131.
46. Vaddepalli P., Fulton L., Wieland J., Wassmer K., Schaeffer M., Ranf S. The cell wall-localized atypical β -1, 3 glucanase ZERZAUST controls tissue morphogenesis in *Arabidopsis thaliana*. *Development.* 2017. No. 144. P. 2259–2269.
47. Halfeld-Vieira B.A., Vieira Júnior J.R., Romeiro R.d.S., Silva H.S.A., Baracat-Pereira M.C. Induction of systemic resistance in tomato by the autochthonous phylloplane resident *Bacillus cereus*. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 2006. No. 41. P. 1247–1252.
48. Walters D.R., Ratsep J., Havis N.D. Controlling crop diseases using induced resistance: challenges for the future. *J. Exp. Bot.* 2013. No. 64. P. 1263–1280.
49. Shen X., Hu H., Peng H., Wang W., Zhang, X. Comparative genomic analysis of four representative plant growth-promoting rhizobacteria in *Pseudomonas*. *BMC Genomics.* 2013. No. 14. P. 271.