

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

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

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

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

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

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

*Подписано в печать 30.09.2021  
Дата выхода номера 29.10.2021  
Формат 60×90 1/8*

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

**Signed in print 30.09.2021**  
**Release date 29.10.2021**  
**Format 60×90 8.1**

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

*Технический редактор Байгузова Л.М.  
Корректор Галенкина Е.С., Дудкина Н.А.*

*Тираж 1000 экз.  
Распространение по свободной цене  
Заказ НО 2021/3  
© 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***

**2021 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. (Омск), 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. Самигуллина А.Э. (Бишкек), д.б.н., проф. Сафонов М.А. (Оренбург), д.м.н., проф. Сентюрова Л.Г. (Астрахань), д.б.н. Симонович Е.И. (Ростов-на-Дону), д.б.н. Смирнов А.А. (Магадан), д.б.н., проф. Соловых Г.Н. (Оренбург), д.м.н., проф. Сомова Л.М. (Владивосток), д.б.н., проф. Тамбовцева Р.В. (Москва), д.б.н., доцент Хацаева Р.М. (Москва), д.м.н., доцент Хворостухина Н.Ф. (Саратов), д.б.н. Хованский И.Е. (Хабаровск), д.б.н. Шабдарбаева Г.С. (Алматы), д.б.н., проф. Шалпыков К.Т. (Бишкек), д.б.н., проф. Юров И.Ю. (Москва)

---

**СОДЕРЖАНИЕ**
**БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ (03.01.00, 03.02.00, 03.03.00)**
**ОБЗОР**

РОЛЬ ЛЕПТИНА В ПАТОГЕНЕЗЕ АТЕРОСКЛЕРОЗА: АКЦЕНТ НА ВЗАИМОДЕЙСТВИИ  
ЛЕПТИНА С МАКРОФАГАМИ

*Чаулин А.М.* ..... 5

**СТАТЬЯ**

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ ГУМУСА – КРИТЕРИЯ БОНИТИРОВКИ ПОЧВ

*Юлдашев Г.Х., Хайдаров М.М.* ..... 11

**СТАТЬЯ**

ГЕНЕТИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЕСЧАНЫХ МАССИВОВ  
ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЫ

*Исаков В.Ю., Юсупова М.А.* ..... 16

**СТАТЬЯ**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКСИЧНОСТИ ПОЧВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*Каманина И.З., Каплина С.П., Чигоева Д.Н.* ..... 21

**СТАТЬЯ**

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЛУГОВО-АЛЛЮВИАЛЬНОЙ ПОЧВЫ  
БУХАРСКОГО ОАЗИСА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА И СТЕПЕНИ ЗАСОЛЕНИЯ

*Ортиков Т.К., Артикова Х.Т., Умаров О.Р.* ..... 27

**СТАТЬЯ**

КРИВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КАТЕГОРИЙ В МОДЕЛИ РАША И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ  
ДЛЯ АНАЛИЗА КАЧЕСТВА ЖИЗНИ В МЕДИЦИНЕ

*Муслов С.А., Маслак А.А., Арутюнов С.Д., Грачев Д.И., Чижмаков Е.А.* ..... 32

---

**CONTENTS**
**BIOLOGICAL SCIENCES (03.01.00, 03.02.00, 03.03.00)**
**REVIEW**

THE ROLE OF LEPTIN IN THE PATHOGENESIS OF ATHEROSCLEROSIS:  
EMPHASIS ON THE INTERACTION OF LEPTIN WITH MACROPHAGES

*Chaulin A.M.* ..... 5

**ARTICLE**

POTENTIAL HUMUS ENERGY – CRITERION FOR SOIL BONITATION

*Yuldashev G.Kh., Khaydarov M.M.* ..... 11

**ARTICLE**

GENETIC AND GEOGRAPHICAL FEATURES OF SAND MASSIFS

*Isakov V.Yu., Yusupova M.A.* ..... 16

**ARTICLE**

DETERMINATION SOIL TOXICITY IN THE AREA OF THE MINING  
INDUSTRY INFLUENCE

*Kamanina I.Z., Kaplina S.P., Chigoeva D.N.* ..... 21

**ARTICLE**

MICROBIOLOGICAL ACTIVITY OF THE MEADOW-ALLUVIAL SOIL OF THE BUKHARA  
OASIS, DEPENDING ON THE TYPE AND DEGREE OF SALINIZATION

*Ortikov T.K., Artikova Kh.T., Umarov O.R.* ..... 27

**ARTICLE**

ITEM CHARACTERISTIC CURVES IN THE RASCH MODEL AND THEIR APPLICATION  
FOR THE ANALYSIS OF THE QUALITY OF LIFE IN MEDICINE

*Muslov S.A., Maslak A.A., Arutyunov S.D., Grachev D.I., Chizhnikov E.A.* ..... 32

## ОБЗОР

УДК 616.13-004.6-008.9:616.12-009.72

**РОЛЬ ЛЕПТИНА В ПАТОГЕНЕЗЕ АТЕРОСКЛЕРОЗА:  
АКЦЕНТ НА ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ЛЕПТИНА С МАКРОФАГАМИ**<sup>1,2</sup>Чаулин А.М.<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Самара, e-mail: [alekseymichailovich22976@gmail.com](mailto:alekseymichailovich22976@gmail.com);<sup>2</sup>ГБУЗ «Самарский областной клинический кардиологический диспансер», Самара, e-mail: [alekseymichailovich22976@gmail.com](mailto:alekseymichailovich22976@gmail.com)

Сердечно-сосудистые заболевания являются ведущей причиной смертности во всем мире, и в этой ситуации изучение новых патогенетических звеньев механизмов атеросклероза имеет принципиальное значение. Внимание многих исследователей приковано к установлению взаимосвязей и взаимодействий между ключевыми факторами риска развития атеросклероза и сердечно-сосудистыми заболеваниями. Одним из таких ключевых факторов является ожирение, которое сопровождается многократным повышением риска развития атеросклероза и сердечно-сосудистых заболеваний. При этом многие молекулы, играющие роль в формировании ожирения, могут рассматриваться в качестве потенциальных участников атеросклеротического поражения. Жировая ткань вырабатывает множество гормонов, называемых адипокинами, к числу которых относится гормон лептин. Как показывают исследования, функциональное значение данного гормона крайне многообразно и включает участие в развитии атеросклероза. При обсуждении эффектов лептина в данной статье внимание акцентируется на его взаимодействии с макрофагами. По результатам проведенного обзора показано, что гиперлептинемия является значимым фактором риска развития атеросклероза и сердечно-сосудистых заболеваний. Основными механизмами проатерогенного действия лептина являются: усиление миграции моноцитов в интиму сосудистой стенки и активация их дифференцировки в макрофаги, усиление захвата макрофагами частиц атерогенных липопротеинов низкой плотности и, соответственно, усиление формирования «пенистых клеток», ослабление оттока холестерина из моноцитов/макрофагов, снижение уровня экспрессии антиатерогенного PPAR- $\gamma$  и усиление продукции провоспалительных медиаторов атеросклероза, таких как фактор некроза опухоли-альфа, интерлейкин-6 и интерлейкин-1 бета.

**Ключевые слова:** обзор литературы, лептин, сердечно-сосудистые заболевания, ожирение, атеросклероз, патогенез, макрофаги, холестерин

**THE ROLE OF LEPTIN IN THE PATHOGENESIS OF ATHEROSCLEROSIS:  
EMPHASIS ON THE INTERACTION OF LEPTIN WITH MACROPHAGES**<sup>1,2</sup>Chaulin A.M.<sup>1</sup>Samara State Medical University, Samara, e-mail: [alekseymichailovich22976@gmail.com](mailto:alekseymichailovich22976@gmail.com);<sup>2</sup>Samara Regional Cardiology Dispensary, Samara, e-mail: [alekseymichailovich22976@gmail.com](mailto:alekseymichailovich22976@gmail.com)

Cardiovascular diseases are the leading cause of death worldwide, and in this situation, the study of new pathogenetic links in the mechanisms of atherosclerosis is of fundamental importance. The focus of many studies is on establishing the relationships and interactions between key risk factors for atherosclerosis and cardiovascular disease. One of these key factors is obesity, which is accompanied by a multiple increase in the risk of developing atherosclerosis and cardiovascular diseases. At the same time, many molecules that play a role in the formation of obesity can be considered as potential participants in atherosclerotic lesions. Adipose tissue produces many hormones called adipokines, which include the hormone leptin. As studies show, the functional significance of this hormone is extremely diverse and includes participation in the development of atherosclerosis. When discussing the effects of leptin in this article, attention is focused on its interaction with macrophages. According to the results of the review, hyperleptinemia is a significant risk factor for the development of atherosclerosis and cardiovascular diseases. The main mechanisms of the proatherogenic action of leptin are: increased migration of monocytes into the intima of the vascular wall and activation of their differentiation into macrophages, increased uptake of low-density atherogenic lipoprotein particles by macrophages, and, consequently, increased formation of «foam cells», decreased cholesterol outflow from monocytes/macrophages, decreased expression of antiatherogenic PPAR- $\gamma$ , and increased production of pro-inflammatory mediators of atherosclerosis, such as tumor necrosis factor-alpha, interleukin-6 and interleukin-1 beta.

**Keywords:** literature review, leptin, cardiovascular diseases, obesity, atherosclerosis, pathogenesis, macrophages, cholesterol

Сердечно-сосудистые заболевания являются ведущей причиной смерти во всем мире, на которую в 2019 г. пришлось 18,6 млн смертей, и ожидается, что к 2030 г. это число вырастет до более чем 23,6 млн [1, 2]. Атеросклероз играет важную роль в развитии ряда сердечно-сосудистых патологий

и осложнений, включая инфаркт миокарда, стенокардию и сердечную недостаточность. За последние два десятилетия глобальная заболеваемость ожирением и сахарным диабетом 2 типа росла угрожающими темпами. Множество доказательств подтверждают мнение о том, что ожирение и сахарный

диабет 2 типа являются основными факторами риска развития атеросклероза [3–5]. Ожирение само по себе является хорошо известным триггером диабета 2 типа [6]. Сердечно-сосудистые заболевания – самая распространенная и самая смертоносная из всех проблем со здоровьем, затрагивающая группы населения, страдающие диабетом и ожирением в нашем обществе. Риск атеросклеротических осложнений увеличивается в два-четыре раза у пациентов с сахарным диабетом и выраженными нарушениями жирового обмена, включая ожирение [7–9], что приводит к увеличению заболеваемости и смертности среди этих людей. Однако фундаментальные механизмы, которые вызывают ускорение атерогенеза при ожирении и сахарном диабете, остаются не до конца понятыми.

*Ожирение, жировая ткань  
и сердечно-сосудистые заболевания*

Ожирение является результатом дисбаланса между потреблением калорий и расходом энергии и напрямую коррелирует с увеличением массы жировой ткани, характеризующейся гипертрофией адипоцитов и гиперплазией адипоцитов [10, 11]. Дисфункция жировой ткани является ключевым фактором метаболических нарушений, связанных с ожирением [11, 12]. Хотя раньше она рассматривалась как инертное хранилище, лишнее какой-либо метаболической активности, новая роль жировой ткани как органа с эндокринной функцией теперь хорошо известна. Множество исследований показали, что жировая ткань, особенно белые адипоциты, секретируют многочисленные белки, известные под общим названием «адипокины» с различными эндокринными функциями [13, 14]. Такие секретируемые адипоцитами белки играют важную роль в регуляции метаболизма глюкозы и жирных кислот, энергетическом гомеостазе, воспалительных реакциях, а также в контроле артериального давления [14, 15]. Несколько классических примеров адипокинов – провоспалительные белки, такие как лептин, резистин, фактор некроза опухоли-альфа и интерлейкин-6, которые могут вызывать неблагоприятные метаболические и иммунные реакции, а также противовоспалительные белки, такие как адипонектин [16–18]. Появляется все больше доказательств связи увеличения висцерального ожирения с дифференцированной секрецией адипокинов [16, 19]. Дисбаланс циркулирующих концентраций одного или нескольких адипокинов может способствовать провоспалительному состоянию, характерному для ожирения, что, в свою очередь,

создает основу для связанных с ожирением осложнений [20]. В то время как в современной литературе есть много отличных обзоров, в которых обсуждается вклад различных адипокинов в этиологию ожирения и связанных с ним метаболических и сердечно-сосудистых нарушений, роль лептина в патогенезе атеросклероза несколько противоречива. Учитывая весьма значительное разнообразие возможного участия лептина в разных звеньях патогенеза атеросклероза невозможно рассмотреть все эти процессы в одной статье. Каждое звено в патогенезе атеросклероза и оценка участия в нем заслуживает отдельного обзора.

Цель настоящей статьи – провести обзор по роли лептина в патогенезе атеросклероза и сердечно-сосудистых заболеваний, акцентировав внимание на взаимодействии лептина с макрофагами.

Лептин, первоначально открытый как фактор (гормон) сытости, регулирующий потребление пищи и расход энергии, представляет собой плейотропный гормон, секретируемый адипоцитами, который участвует во многих биологических процессах, включая воспалительный ответ, иммунную функцию, ангиогенез, сосудистую функцию, гомеостаз костей и репродуктивную функцию [21]. Повышенный уровень лептина в сыворотке напрямую коррелирует с увеличением массы жировой ткани и является основной движущей силой ожирения и связанных с ним метаболических нарушений. Эпидемиологические данные указывают на связь между гиперлептинемией и несколькими сердечно-сосудистыми заболеваниями, включая застойную сердечную недостаточность, инфаркт миокарда, гипертонию и ишемическую болезнь сердца [22]. Эти данные свидетельствуют о важной роли лептина в связи ожирения и связанных с ним метаболических нарушений с сердечно-сосудистой дисфункцией. Многочисленные клинические и экспериментальные исследования подчеркивают гиперлептинемия, признак ожирения как независимый фактор риска развития атеросклеротических макрососудистых осложнений [22–24]. Исследование, проведенное McMahon et al. [25], продемонстрировало, что высокие уровни лептина увеличивают риск субклинического атеросклероза при системной красной волчанке, и это сопровождалось повышенными уровнями воспалительных биомаркеров, таких как липопротеин-альфа, окисленные фосфолипиды и апопротеин В100. В другом исследовании увеличение окружности талии и повышение уровня лептина в сыворотке сопровождалось повышенным уровнем холестерина, триглицеридов

и С-реактивного белка в сыворотке крови у пациентов с ишемической болезнью сердца по сравнению со здоровыми людьми из контрольной группы [26]. Также наблюдалась сильная положительная корреляция между повышенным уровнем лептина в плазме и количеством стенозированных коронарных сосудов у пациентов с ишемической болезнью сердца [27]. Эти данные прямым образом доказывают связь повышенных сывороточных концентраций с более высоким риском развития атеросклероза и сердечно-сосудистых заболеваний. Кроме того, совсем недавно сообщалось, что повышенный уровень лептина в сыворотке крови представляет гораздо больший риск развития осложненного атеросклеротического поражения сосудов, в частности кальцифицирующего заболевания сосудов аорты. Было обнаружено, что этот пагубный эффект лептина усиливается с возрастом и ко всему прочему вызывает снижение почечной функции [28]. Эти недавно полученные результаты исследований согласуются с более ранними сообщениями, в которых было показано, что уровни лептина в сыворотке крови у лиц с ожирением или избыточной массой являются прогностическими факторами для инфаркта миокарда, атеросклероза, инсульта и других неблагоприятных сердечно-сосудистых событий [29, 30].

В соответствии с значительным количеством клинических данных, иллюстрирующих гиперлептинемия как связь между ожирением и сосудистой дисфункцией, исследования на животных с использованием моделей сосудистого повреждения показали, что экзогенный лептин способствует росту неоинтимы и ремоделированию сосудов, являющихся одними из неотъемлемых звеньев патогенеза атеросклеротического поражения сосудистой стенки [31]. Таким образом, данные экспериментального и клинического характера отчетливо доказывают одну из ключевых ролей повышенных уровней лептина в сыворотке крови человека и животных в патогенезе атеросклероза и сердечно-сосудистых заболеваний.

Перед обсуждением роли лептина в патогенезе атеросклероза с акцентом его влияния на макрофаги следует рассмотреть фундаментальные сведения о атерогенезе и отметить непосредственную роль макрофагов в данном процессе.

#### *Базовый обзор патогенеза атеросклероза*

Атеросклероз – это хроническое воспалительное заболевание артериальной стенки, вызванное начальной реакцией сосудов на повреждение эндотелия [32, 33]. В здоровом кровеносном сосуде выстилка эндо-

телиальных клеток обеспечивает активный метаболизм между циркулирующей кровью и стенкой сосуда. Основная функция этого эндотелиального монослоя – регулировать адекватный обмен жидкости, питательных веществ и газов между кровью и тканями. Кроме того, эндотелиальная выстилка стенки сосуда регулирует множество функций, включая контроль сосудистого тонуса, выработку сильнодействующих сосудосуживающих (эндотелин-1, тромбоксан и другие) и сосудорасширяющих соединений (оксид азота, простаглицлин и другие), коагуляцию, проницаемость липопротеинов, а также адгезию и миграцию форменных элементов крови. Эндотелиальная дисфункция, характеризующаяся выраженным дисбалансом продукции описанных выше биологически активных соединений, является ранним маркером атеросклероза [32–35]. В ответ на проатерогенные стимулы (например, гипергликемия, гиперлипидемия, ожирение и многие другие) повреждение барьера эндотелиальных клеток запускает повышенную экспрессию множественных молекул адгезии (например, молекула адгезии сосудистых клеток-1 (VCAM-1) и молекула межклеточной адгезии-1 (ICAM-1)) на поверхности эндотелиальных клеток. Это, в свою очередь, способствует прикреплению циркулирующих моноцитов к поврежденному эндотелию с последующей трансмиграцией моноцитов в интимный слой, лежащий под субэндотелиальным матриксом сосудистой сети. Кроме того, изменения формы и свойств эндотелиальной выстилки, такие как потеря эндотелиальных плотных контактов, обеспечивают проход для циркулирующих атерогенных липопротеиновых частиц (липопротеинов низкой плотности, липопротеинов очень низкой плотности), обычно повышенных при ожирении и связанных с ним метаболических состояниях [5, 17]. В интимном слое стенки сосуда окисление липидов липопротеинов низкой плотности значительно повышает их атерогенные свойства. А инфильтрирующие интиму моноциты далее активно дифференцируются в макрофаги. За этими событиями следует поглощение окисленных липопротеинов низкой плотности макрофагами, опосредованное рецепторами-мусорщиками, также называемых скавенджер-рецепторами (кластер дифференцировки 36 (CD36), рецептор окисленных липопротеинов низкой плотности-1 (LOX-1), скавенджер-рецептор А (SR-A)), экспрессированными на поверхности макрофагов. Формирование таких нагруженных липидами макрофагов, или «пенистых клеток», представляет собой самую раннюю стадию

атеросклероза, называемую образованием жировых полос или пятен [36]. Дальнейшее прогрессирование атеросклеротических поражений включает высвобождение нескольких факторов роста и цитокинов эндотелиальными клетками, Т-лимфоцитами и макрофагами. Эти факторы роста и цитокины опосредуют миграцию гладкомышечных клеток из медиального слоя сосудистой стенки в слой интимы с последующей обширной пролиферацией гладкомышечных клеток; это, в свою очередь, значительно увеличивает содержание гладкомышечных клеток в субэндотелиальном пространстве, что характеризует уже сложные и осложненные атеросклеротические поражения. Накапливающиеся данные показывают, что такие гиперпролиферативные гладкомышечные клетки синтезируют различные макромолекулы внеклеточного матрикса, такие как коллаген, эластин и гликопротеины; кроме того, гладкомышечные клетки могут поглощать окисленные липопротеины низкой плотности через указанные выше сквенджер-рецепторы (CD36, CD11b, SR-A и другие), расположенные на их клеточной поверхности, запуская образование пенистых клеток, происходящих из гладкомышечных клеток, в субэндотелиальном матриксе [37, 38]. Это прогрессирующее увеличение количества гладкомышечных клеток сосудов и накопления липидов является ключевой особенностью прогрессирующих атеросклеротических поражений, которые в конечном итоге способствуют окклюзии сосудов и значительному уменьшению просвета артерий, повышая риск развития острых сердечно-сосудистых заболеваний, таких как острый инфаркт миокарда и инсульт.

#### *Взаимодействие лептина с макрофагами*

Макрофаги – это основные популяции иммунных клеток, обнаруживаемые при атеросклеротических поражениях. Эти клетки играют важную роль в инициации поражения, а также в развитии осложненных атеросклеротических бляшек. Повышенное накопление пенистых клеток, происходящих из макрофагов, в интимном слое артериальной стенки является ключевым патологоанатомическим признаком атеросклероза [39, 40]. Гомеостаз холестерина является ключевым фактором, определяющим воспалительный статус макрофагов. Предполагается, что пониженный уровень клеточного холестерина может способствовать поляризации макрофагов противовоспалительным (M2) фенотипом [41, 42]. Рядом исследователей лептин признан сильнодействующим хемоаттрактантом моноцитов / макрофа-

гов [43]. Экспериментальные исследования показали, что мышинные макрофаги, выделенные от лептин-дефицитных мышей, демонстрируют пониженное накопление холестерина и более низкий воспалительный ответ, обнаруживаемый через ослабленную экспрессию сквенджер-рецепторов (CD36, CD11b, CD40 и SR-A) [44]. Эти результаты позволяют предположить, что дефицит лептина снижает образование пенистых клеток и тормозит развитие атеросклероза. Было обнаружено, что инкубация моноцитарных клеток с лептином в концентрациях, обычно наблюдаемых у пациентов с ожирением, увеличивает экспрессию провоспалительных белков (фактора некроза опухоли-альфа, интерлейкина-6 и интерлейкина 1 бета) в мононуклеарных клетках человека и экспериментальных животных [45]. В другом исследовании с использованием первичных культур моноцитов / макрофагов человека [46] было показано, что физиологические концентрации лептина увеличивают накопление холестерилового эфира за счет активации фермента ацил-КоА: холестерин-ацилтрансферазы-1 (АСАТ-1), фермента, катализирующего синтез сложного холестерилового эфира, в отсутствие какого-либо влияния на эндотелитарный захват атерогенных частиц липопротеинов низкой плотности. Было также обнаружено, что лептин подавляет отток холестерина, опосредованный антиатерогенным действием липопротеинов высокой плотности (ЛПВП), в этих условиях. В дополнение к этому АСАТ-1 также играет роль в дифференцировке моноцитов в макрофаги. Опираясь на эти данные, постулируется индуцированная лептином повышенная экспрессия АСАТ-1, которая вызывает усиление дифференцировки моноцитов в макрофаги, вызывая ускорение атерогенеза. Наряду с этим растущее количество литературы указывает на то, что фактор транскрипции PPAR- $\gamma$  (рецепторы, активируемые пероксисомными пролифераторами), основная мишень антидиабетических соединений семейства тиазолидиндионов, является ключевым регулятором липидного метаболизма макрофагов [47]. PPAR- $\gamma$  также участвует в дифференцировке макрофагов и воспалительной реакции. Предыдущая работа продемонстрировала, что в первичных культурах макрофагов человека и пенистых клетках, происходящих из макрофагов, повышенные уровни лептина снижают уровень экспрессии мРНК PPAR- $\gamma$  [48]. Эти данные предполагают, что лептин-опосредованное подавление PPAR- $\gamma$  является вероятным механизмом, лежащим в основе вызванной гиперлептинемией, сосудистой эндотели-

альной дисфункции. Взятые вместе, эти данные свидетельствуют о способности лептина способствовать образованию проатерогенных макрофагов. Несколько возможных лептин-опосредованных атерогенных механизмов включают повышенную секрецию воспалительных цитокинов, повышенную пролиферативную способность, окислительный стресс и нарушение липидного обмена. Эти результаты *in vitro* также подтверждаются исследованиями на животных *in vivo*, проведенными Surmi et al. [49] и показавшими роль гиперлептинемии в индукции формирования проатерогенных макрофагов и атерогенезе. Мышей с гиперлептинемическим ожирением, но лишенных функциональных рецепторов лептина, подвергали трансплантации костного мозга от мышей-доноров с интактными рецепторами лептина, либо с дисфункциональными рецепторами лептина. При этом сообщается об обнаружении различий в площади поражения корня аорты между опытной и контрольной группой мышей, что позволяет предположить, что рецепторы лептина, специфичные для макрофагов, играют прямую роль в развитии атеросклеротических поражений. В целом результаты этого исследования *in vivo* также подчеркивают потенциальную роль негематопоэтических клеток, таких как эндотелиальные клетки и гладкомышечные клетки в проатерогенных реакциях, индуцированных лептином.

### Заключение

Таким образом, баланс между физиологическими и патологическими концентрациями лептина определяет его пагубное воздействие на сосудистую стенку. Хотя лептин на физиологических уровнях может оказывать терапевтическое действие, патофизиологические количества лептина, имитирующие сахарный диабет или ожирение, проявляют сильные проатерогенные свойства. Результаты проведенных клинических исследований отчетливо демонстрируют, что повышенные уровни лептина усиливают риск формирования атеросклероза и развития острых сердечно-сосудистых заболеваний, таких как острый инфаркт миокарда и инсульт. Данные ряда клинических исследований подтверждаются результатами исследований на экспериментальных моделях животных. Основные механизмы проатерогенного действия лептина включают следующую звенья: усиление миграции моноцитов в интиму сосудистой стенки и активация их дифференцировки в макрофаги, усиление захвата макрофагами частиц атерогенных липопротеинов низкой плотности и, соответственно, усиление формирования

«пенистых клеток», ослабление оттока холестерина из моноцитов/макрофагов, снижение уровня экспрессии антиатерогенного PPAR- $\gamma$  и усиление продукции провоспалительных медиаторов атеросклероза, таких как фактор некроза опухоли-альфа, интерлейкин-6 и интерлейкин-1 бета.

### Список литературы

1. Virani S.S., Alonso A., Aparicio H.J., Benjamin E.J., Bitencourt M.S., Callaway C.W., Carson A.P., Chamberlain A.M., Cheng S., Delling F.N., Elkind M.S.V., Evenson K.R., Ferguson J.F., Gupta D.K., Khan S.S., Kissela B.M., Knutson K.L., Lee C.D., Lewis T.T., Liu J., Loop M.S., Lutsey P.L., Ma J., Mackey J., Martin S.S., Matchar D.B., Mussolino M.E., Navaneethan S.D., Perak A.M., Roth G.A., Samad Z., Satou G.M., Schroeder E.B., Shah S.H., Shay C.M., Stokes A., Van Wagner L.B., Wang N.Y., Tsao C.W. American Heart Association Council on Epidemiology and Prevention Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee. Heart Disease and Stroke Statistics-2021 Update: A Report From the American Heart Association // *Circulation*. 2021; 143 (8): e254–e743.
2. Чаулин А.М., Карслян Л.С., Григорьева Е.В., Нурбалтаева Д.А., Дупляков Д.В. Клинико-диагностическая ценность кардиомаркеров в биологических жидкостях человека // *Кардиология*. 2019. № 59 (11). С. 66–75.
3. Nagareddy P.R., Murphy A.J., Stirzaker R.A., Hu Y., Yu.S., Miller R.G., Ramkhalawon B., Distel E., Westerterp M., Huang L.S., Schmidt A.M., Orchard T.J., Fisher E.A., Tall A.R., Goldberg I.J. Hyperglycemia promotes myelopoiesis and impairs the resolution of atherosclerosis // *Cell Metab*. 2013. 17(5). P. 695–708.
4. Чаулин А.М., Григорьева Ю.В., Суворова Г.Н., Дупляков Д.В. Способы моделирования атеросклероза у кроликов // *Современные проблемы науки и образования*. 2020. № 5. [Электронный ресурс]. URL: <http://science-education.ru/article/view?id=30101> (дата обращения: 01.06.2020).
5. Чаулин А.М., Григорьева Ю.В., Дупляков Д.В. Современные представления о патофизиологии атеросклероза. Ч. 1. Роль нарушения обмена липидов и эндотелиальной дисфункции (обзор литературы) // *Медицина в Кузбассе*. 2020. № 2. С. 34–41.
6. Al-Goblan A.S., Al-Alfi M.A., Khan M.Z. Mechanism linking diabetes mellitus and obesity // *Diabetes Metab Syndr Obes*. 2014. No. 7. P. 587–591.
7. Isomaa B., Almgren P., Tuomi T., Forsén B., Lahti K., Nissén M., Taskinen M.R., Groop L. Cardiovascular morbidity and mortality associated with the metabolic syndrome. *Diabetes Care*. 2001 Apr; 24 (4): 683–9. DOI: 10.2337/diacare.24.4.683.
8. Чаулин А.М. Участие пропротеин конвертазы субтилизин кексин типа 9 в патогенезе атеросклероза // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки*. 2020. Т. 1. № 53. С. 111–128.
9. Чаулин А.М., Григорьева Ю.В. Сиртуины и сосудистое старение // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2020. № 12. С. 49–54.
10. Kahn C.R., Wang G., Lee K.Y. Altered adipose tissue and adipocyte function in the pathogenesis of metabolic syndrome // *J Clin Invest*. 2019. No. 129 (10). P. 3990–4000.
11. Чаулин А.М., Дупляков Д.В. Роль PCSK9 в регуляции транспорта липопротеинов (обзор литературы) // *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии*. 2021. Т. 24. № 1. С. 42–45.
12. Longo M., Zatterale F., Naderi J., Parrillo L., Formisano P., Raciti G.A., Beguinot F., Miele C. Adipose Tissue Dysfunction as Determinant of Obesity-Associated Metabolic Complications // *Int J Mol Sci*. 2019. No. 20(9). P. 2358.
13. Trayhurn P., Wood I.S. Adipokines: inflammation and the pleiotropic role of white adipose tissue // *Br J Nutr*. 2004. No. 92 (3). P. 347–55.

14. Чаулин А.М., Григорьева Ю.В. О биологической роли лептина // Научное обозрение. Биологические науки. 2021. № 1. С. 32–38.
15. Fuster J.J., Ouchi N., Gokce N., Walsh K. Obesity-Induced Changes in Adipose Tissue Microenvironment and Their Impact on Cardiovascular Disease // *Circ Res*. 2016. 118 (11). P. 1786–807.
16. Konigorski S., Janke J., Drogan D., Bergmann M.M., Hierholzer J., Kaaks R., Boeing H., Pischon T. Prediction of Circulating Adipokine Levels Based on Body Fat Compartments and Adipose Tissue Gene Expression // *Obes Facts*. 2019. No. 12 (6). P. 590–605.
17. Chaulin A.M., Grigoreva Yu.V., Duplyakov D.V. About the role of immuno-inflammatory mechanisms in the pathogenesis of atherosclerosis // *European Journal of Natural History*. 2020. No. 5. P. 2–6.
18. Чаулин А.М., Григорьева Ю.В., Дупляков Д.В. Роль толл-подобных рецепторов (tlr) в патогенезе атеросклероза // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2020. № 9. С. 54–58.
19. Чаулин А.М., Григорьева Ю.В. Воспаление при атеросклерозе: от теории к практике // *Бюллетень науки и практики*. 2020. Т. 6. № 10. С. 186–205.
20. Yoo H.J., Choi K.M. Adipokines as a novel link between obesity and atherosclerosis // *World J Diabetes*. 2014. No. 5 (3). P. 357–63.
21. Denver R.J., Bonett R.M., Boorse G.C. Evolution of leptin structure and function // *Neuroendocrinology*. 2011. No. 94 (1). P. 21–38.
22. Chen M.C., Wang J.H., Lee C.J., Hsu B.G. Association between hyperleptinemia and cardiovascular outcomes in patients with coronary artery disease // *Ther Clin Risk Manag*. 2018. No. 14. P. 1855–1862.
23. Fantuzzi G., Mazzone T. Adipose tissue and atherosclerosis: exploring the connection // *Arterioscler Thromb Vasc Biol*. 2007. No. 27 (5). P. 996–1003.
24. Beltowski J. Leptin and atherosclerosis // *Atherosclerosis*. 2006. No. 189 (1). P. 47–60.
25. McMahon M., Skaggs B.J., Sahakian L., Grossman J., FitzGerald J., Ragavendra N., Charles-Schoeman C., Chernishof M., Gorn A., Witztum J.L., Wong W.K., Weisman M., Wallace D.J., La Cava A., Hahn B.H. High plasma leptin levels confer increased risk of atherosclerosis in women with systemic lupus erythematosus, and are associated with inflammatory oxidized lipids // *Ann Rheum Dis*. 2011. No. 70 (9). P. 1619–24.
26. Montazerifar F., Bolouri A., Paghalea R.S., Mahani M.K., Karajibani M. Obesity, Serum Resistin and Leptin Levels Linked to Coronary Artery Disease // *Arq Bras Cardiol*. 2016. 107 (4). P. 348–353.
27. Rahmani A., Toloueitabar Y., Mohsenzadeh Y., Hemmati R., Sayehmiri K., Asadollahi K. Association between plasma leptin/adiponectin ratios with the extent and severity of coronary artery disease. *BMC Cardiovasc Disord* // 2020. No. 20 (1). P. 474.
28. Liu Y., Gu Y., Shen Y., Lin B., Li Y., He X., Zhang Y., Lu L., Shen W., Zhang Q., Yang K. Association Between Serum Leptin Level and Calcific Aortic Valve Disease // *J Am Heart Assoc*. 2019. No. 8 (19):e012495.
29. Montazerifar F., Bolouri A., Paghalea R.S., Mahani M.K., Karajibani M. Obesity, Serum Resistin and Leptin Levels Linked to Coronary Artery Disease // *Arq Bras Cardiol*. 2016. No. 107 (4). P. 348–353.
30. Khafaji H.A., Bener A.B., Rizk N.M., Al Suwaidi J. Elevated serum leptin levels in patients with acute myocardial infarction; correlation with coronary angiographic and echocardiographic findings // *BMC Res Notes*. 2012. No 5:262.
31. Schroeter M.R., Eschholz N., Herzberg S., Jerchel I., Leifheit-Nestler M., Czepluch F.S., Chalikias G., Konstantinides S., Schäfer K. Leptin-dependent and leptin-independent paracrine effects of perivascular adipose tissue on neointima formation // *Arterioscler Thromb Vasc Biol*. 2013. No. 33 (5). P. 980–987.
32. Mudau M., Genis A., Lochner A., Strijdom H. Endothelial dysfunction: the early predictor of atherosclerosis // *Cardiovasc J Afr*. 2012. No. 23 (4). P. 222–231.
33. Чаулин А.М., Дупляков Д.В. PCSK-9: современные представления о биологической роли и возможности использования в качестве диагностического маркера сердечно-сосудистых заболеваний. Ч. 1 // *Кардиология: новости, мнения, обучение*. 2019. Т. 7. № 2. С. 45–57.
34. Чаулин А.М., Дупляков Д.В. Биомаркеры острого инфаркта миокарда: диагностическая и прогностическая ценность. Ч. 1 // *Клиническая практика*. 2020. Т. 11. № 3. С. 75–84.
35. Чаулин А.М., Дупляков Д.В. PCSK-9: современные представления о биологической роли и возможности использования в качестве диагностического маркера сердечно-сосудистых заболеваний. Ч. 2 // *Кардиология: новости, мнения, обучение*. 2019. Т. 7. № 4. С. 24–35.
36. Чаулин А.М., Дупляков Д.В. О роле psck9 в развитии атеросклероза: молекулярные аспекты // *Молекулярная медицина*. 2021. No. 19 (2). P. 8–15.
37. Bennett M.R., Sinha S., Owens G.K. Vascular Smooth Muscle Cells in Atherosclerosis // *Circ Res*. 2016. No. 118 (4). P. 692–702.
38. Чаулин А.М., Дупляков Д.В. Биомаркеры острого инфаркта миокарда: диагностическая и прогностическая ценность. Часть 2 (обзор литературы) // *Клиническая практика*. 2020. Т. 11. № 4. С. 70–82.
39. Choudhury R.P., Lee J.M., Greaves D.R. Mechanisms of disease: macrophage-derived foam cells emerging as therapeutic targets in atherosclerosis // *Nat Clin Pract Cardiovasc Med*. 2005. No. 2 (6). P. 309–315.
40. Webb N.R., Moore K.J. Macrophage-derived foam cells in atherosclerosis: lessons from murine models and implications for therapy // *Curr Drug Targets*. 2007. No. 8 (12). P. 1249–1263.
41. Fadini G.P., Simoni F., Cappellari R., Vitturi N., Galasso S., Vigili de Kreutzenberg S., Previato L., Avogaro A. Pro-inflammatory monocyte-macrophage polarization imbalance in human hypercholesterolemia and atherosclerosis. *Atherosclerosis*. 2014. No. 237 (2). P. 805–808.
42. Lee M.K., Moore X.L., Fu Y., Al-Sharea A., Dragoljevic D., Fernandez-Rojo M.A., Parton R., Sviridov D., Murphy A.J., Chin-Dusting J.P. High-density lipoprotein inhibits human M1 macrophage polarization through redistribution of caveolin-1 // *Br J Pharmacol*. 2016. No. 173 (4). P. 741–751.
43. Gruen M.L., Hao M., Piston D.W., Hasty A.H. Leptin requires canonical migratory signaling pathways for induction of monocyte and macrophage chemotaxis // *Am J Physiol Cell Physiol*. 2007. No. 293 (5). P. 1481–1488.
44. Kjerrulf M., Berke Z., Aspegren A., Umaerus M., Nilsson T., Svensson L., Hurt-Camejo E. Reduced cholesterol accumulation by leptin deficient (ob/ob) mouse macrophages // *Inflamm Res*. 2006. No. 55 (7). P. 300–309.
45. Tsiotra P.C., Boutati E., Dimitriadis G., Raptis S.A. High insulin and leptin increase resistin and inflammatory cytokine production from human mononuclear cells // *Biomed Res Int*. 2013. 2013:487081.
46. Hongo S., Watanabe T., Arita S., Kanome T., Kageyama H., Shioda S., Miyazaki A. Leptin modulates ACAT1 expression and cholesterol efflux from human macrophages // *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2009 Aug. No. 297(2). E474–482.
47. Chawla A., Barak Y., Nagy L., Liao D., Tontonoz P., Evans R.M. PPAR-gamma dependent and independent effects on macrophage-gene expression in lipid metabolism and inflammation // *Nat Med*. 2001. 7 (1). P. 48–52.
48. Cabrero A., Cubero M., Llaverías G., Alegret M., Sánchez R., Laguna J.C., Vázquez-Carrera M. Leptin down-regulates peroxisome proliferator-activated receptor gamma (PPAR-gamma) mRNA levels in primary human monocyte-derived macrophages // *Mol Cell Biochem*. 2005. No. 275 (1–2). P. 173–179.
49. Surmi B.K., Atkinson R.D., Gruen M.L., Coenen K.R., Hasty A.H. The role of macrophage leptin receptor in aortic root lesion formation // *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2008. No. 294 (3). E488–495.

## СТАТЬЯ

УДК 631.412/.417.2

## ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ ГУМУСА – КРИТЕРИЯ БОНИТИРОВКИ ПОЧВ

Юлдашев Г.Х., Хайдаров М.М.

*Ферганский государственный университет, Фергана, e-mail: gulyam48@mail.ru*

В работе изложены основные агрохимические показатели орошаемых темных, типичных и светлых сероземов севера Ферганы. Указывается на то, что плодородие изученных сероземов связано с энергетически обогащенными компонентами, такими как гумус. Подчеркивается, что бонитировка почв по гумусу, особенно по энергии гумуса, относится к числу наиболее актуальных и в то же время наиболее сложных проблем почвоведения. В процессе определения балла бонитета учитывались наряду с другими влияние содержания и энергии гумуса. Они нами, как полагалось, учитывались исходя из коэффициента корреляции между урожайностью сорта пшеницы Андижан-1 и показателями энергии гумуса. В условиях с недостаточным природным обеспечением влагой, с поливным режимом пшеницы, наибольшие корреляционные связи с урожайностью пшеницы наблюдаются в содержании гумуса, следовательно, с его энергией. Полученные полевые и расчетные материалы показывают, что при среднем показателе 24,6 ккал/г, среднеквадратическое отклонение составляет  $\pm 0,96$ , коэффициент вариации 3,89, урожайность 5,77 т/га. С такими показателями расчет коэффициента корреляции между урожайностью пшеницы и потенциальной энергией гумуса показал, что коэффициент корреляции составляет 0,92, означает, что связь очень тесная, следовательно, потенциальная энергия гумуса может служить одним из критериев бонитировки орошаемых почв.

**Ключевые слова:** сероземы, орошение, плодородие, гумус, энергия, корреляция, коэффициент, бонитировка

## POTENTIAL HUMUS ENERGY – CRITERION FOR SOIL BONITATION

Yuldashev G.Kh., Khaydarov M.M.

*Fergana State University, Fergana, e-mail: gulyam48@mail.ru*

The paper describes the main agrochemical indicators of irrigated dark, typical and light gray soils in the north of Fergana. It is indicated that the fertility of the studied gray soils is associated with energetically enriched components such as humus. It is emphasized that the rating of soils in terms of humus, especially in terms of humus energy, is one of the most urgent and at the same time the most difficult problems of soil science. In the process of determining the value of the bonitos, the influence of the content and energy of humus was taken into account, along with others. They were taken into account by us, as expected, based on the correlation coefficient between the yield of the Andijan-1 wheat variety and the indicators of humus energy. In conditions with insufficient natural moisture supply, with the irrigation regime of wheat, the greatest correlations with wheat yield are observed in the content of humus, therefore, with its energy. The obtained field and calculation materials show that with an average of 24.6 kcal / g, the standard deviation is  $\pm 0.96$ , the coefficient of variation is 3.89, and the yield is 5.77 t / ha. With such indicators, the calculation of the correlation coefficient between the wheat yield and the potential energy of humus showed that the correlation coefficient is 0.92, which means that the relationship is very close, therefore, the potential energy of humus can serve as one of the criteria for the bonitos of irrigated soils.

**Keywords:** sierozems, irrigation, fertility, humus, energy, correlation, coefficient, bonitos

В природных почвенных процессах важное место занимает концепция об обмене веществ и энергии. Вполне закономерно, что обмену веществ и энергии посвящено много работ. Несмотря на это, явления обмена энергии и веществ привлекают все большее внимание. Энергетические критерии имеют первостепенное значение, потому что энергетический поток управляет химическими, физическими, биологическими и другими процессами в ландшафтах, в частности в почвах. В трудах А.Е. Ферсмана [1] обосновано энергетическое истолкование геохимических процессов. В этом отношении следует привести его слова [1], что «энергетический подход к анализу динамически развивающихся процессов природы является конечной целью наших исканий... мы должны перейти на единое мерило определения хода процесса, причем таковым может быть калория или киловатт».

Таким образом, можно полагать, что плодородие почв связано энергетически обогащенными компонентами, такими как гумус, гуминовые кислоты, и другими веществами органического генезиса. Это свидетельствует об актуальности исследования энергетического подхода в почвоведении. Бонитировка почв по гумусу, особенно по энергии гумуса, относится к числу наиболее актуальных и в то же время наиболее сложных проблем современного почвоведения. Важное агрономическое значение имеет энергетика гумусообразования, энергия аккумулярованных в гумусе почв. Представление о гумусообразовании как сложном процессе в обмене веществ и энергии между факторами почво- и гумусообразования является одним из основных положений почвообразовательного процесса. В этом плане следует помнить, что немалое количество солнечной энергии аккумулируется в гуму-

се почвы. Однако некоторые аспекты плодородия почв, несмотря на широкий спектр исследования, и на сегодняшний день остаются дискуссионными.

Цель исследования – рассмотрение некоторых проблем связи гумуса и его энергетического потенциала в зависимости от типа и подтипа почв, мощности генетических горизонтов, общей массы гумуса, а также корреляционные связи между содержанием гумуса и его потенциальной энергии с урожайностью пшеницы в орошаемых темных, типичных и светлых сероземах севера Ферганы Республики Узбекистан.

#### **Материалы и методы исследования**

В формировании потенциального и экономического плодородия почв большая роль отводится гумусу, содержание, запасы, состав которого практически определяют ценные свойства и продуктивность почв. С целью выявления корреляционных связей между урожайностью пшеницы, содержанием гумуса и его энергией использованы полевые и лабораторные исследования авторов, а также литературные источники, на которые даны ссылки.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Исследования гумуса, проведенные в последние годы, свидетельствуют о планетарном его значении как крупнейшего геохимического природного аккумулятора, основного хранителя энергии Солнца на земной поверхности. Основу почвенного гумуса составляет углерод, который находится в активном состоянии. Во всех почвах существуют характерные для них генетические горизонты и признаки, единые по своему содержанию и общие для разных в генетическом отношении почв: механический состав, мощность гумусовых горизонтов и запасы гумуса, что позволяет их считать основными и общими критериями бонитировки почвы. Критериями бонитировки почв являются и природные диагностические признаки, которые приобретены в процессе формирования и окультуривания, коррелирующие с урожайностью основных сельскохозяйственных культур. Это значит, что критериями бонитировки почв могут быть содержание гумуса, мощность гумусового горизонта, механический состав, питательные элементы и другие. Исходя из этих положений, нами в последние годы разрабатывается корреляция между энергетическим потенциалом гумуса и урожайностью пшеницы в разных регионах. В процессе определения общего балла бонитета учитывается частичное влияние каждого призна-

ка на урожай культуры. Он рассчитывается, исходя из коэффициента корреляции между урожайностью и показателем отдельных свойств почв. В данном случае между потенциальной энергией гумуса типичных сероземов и урожайностью пшеницы Андиган-1. При этом учтено, что если значение коэффициента корреляции находится в пределах 0,5, то связь считается слабой, от 0,5 до 0,7 средней, если значение коэффициента более 0,7 то связь можно считать тесной. В наших условиях с недостаточным природным обеспечением влагой, с поливным режимом сельскохозяйственных культур, наибольшие корреляционные связи с урожайностью наблюдается в содержании гумуса, следовательно, с его энергией. В данном случае за эталон принят орошаемый типичный серозем с содержанием гумуса 1,1–2,1%. Физические, химические, биологические и другие свойства орошаемых почв тесно коррелируют с многолетней средней урожайностью зерновых, такими как гумусность, механический состав и мощность гумусового горизонта и др. Надо помнить, что одновременно использование данных по свойствам почв объясняется, что это положение, то есть корреляция между свойствами почв и урожайностью сельскохозяйственных культур, наблюдается только в пределах выбранных генетических рядов почв.

Так, например, с урожайностью пшеницы хорошо коррелирует содержание гумуса. Этот показатель может не работать для засоленных почв. До сих пор приведены перечни физических, химических свойств почв, методика которых хорошо разработана. Уровень плодородия почв определяется с помощью поправочных коэффициентов. В этом плане предстоит большая задача по совершенствованию методов бонитировки почв. Одним из таких примеров может служить использование потенциальной энергии гумуса, которая напрямую связана с его содержаниями в почвах. Нашими исследованиями установлено, что средняя многолетняя урожайность пшеницы на площади 38 га на орошаемых типичных сероземах в среднем из шести физических точек наблюдений составляет 57,6 ц/га, указанные типичные сероземы по основной шкале [2] имеют бонитет 68 балл с учетом коэффициентов по содержанию гумуса (0,80), мощности гумусового горизонта (0,85) и механического состава (1,0). При использовании энергии гумуса этот показатель меняется: так, потенциальная энергия гумуса, рассчитанная нами при его содержании 1,41%, составляет 24,6 ккал/г. Расчетные и полевые полученные матери-

алы показывают, что при среднем показателе 24,6 ккал/г, среднеарифметическое отклонение  $\pm 0,96$ , коэффициент вариации 3,89, средняя из шести физических точек урожайность составляет 5,77 т/га, где коэффициент вариации составляет 4,61. Расчет коэффициентов корреляции между урожайностью пшеницы и потенциальной энергии гумуса показал, что коэффициент корреляции составляет 0,92, означает, что связь очень тесная. С учетом вышеприведенных нами разрабатываются шкала градации и поправочные коэффициенты для орошаемых типичных сероземов с учетом потенциальной энергии гумуса. Использование энергетического потенциала органического вещества почв в качестве основного критерия и в виде поправочных коэффициентов, пока может носить узкорегionalный характер, но с учетом генетических особенностей почвенного покрова расширяется использование энергетического потенциала гумуса почв. При учете балла бонитета почв по формуле с введением поправочных коэффициентов в качестве эталона в наших условиях за 100 баллов предлагается принять орошаемые типичные сероземы среднесуглинистые. Энергия гумуса и других органических веществ почв расходуется на структуризацию и другие характеристики почв, в результате чего создается благоприятное условие для роста, развития растений. В гумусовых горизонтах почв часть энергии расходуется на преобразование минеральной массы, обеспечение питательными элементами растений и почвенных организмов, включая микроорганизмы. Исследованиями ряда ученых установлено, что только 1–2% приходящей солнечной энергии используется экосистемой. Использование солнечной энергии и ее аккумуляция наряду с другими свойствами биосферы связаны с составом и содержанием гумуса почв и круговорота химических элементов. Оценку энергетического потенциала органического вещества и отдельных его компонентов показателей энергетического состояния почв агроландшафтов можно использовать для определения их энергетического баланса, уровня направлений и воспроизводства плодородия [3, 4]. Что касается запаса энергии в почвах, до сих пор пока еще нет достоверных и простых, общепринятых методов определения всего запаса энергии в органических, минеральных, органоминеральных частях почвы. Прямых определений теплоты сгорания, то есть энергии гумуса и его компонентов, немного. Имеются попытки определения энергии гумуса и его составных частей путем расчета. В отношении источников

энергии почвообразования ответ может быть вполне определенным: это солнечная энергия, достигающая земной поверхности и определяемая как радиационный баланс земной поверхности. Количество тепла, приходящее изнутри земного шара к поверхности почвы очень мало по сравнению с приходящим солнечным теплом (около 55 кал см<sup>2</sup>.год) и практически при расчетах может не приниматься во внимание.

Определенная часть лучистой энергии Солнца аккумулируется в гумусе почв. В связи с этим большой интерес представляет изучение динамики, энергии почвенного гумуса во времени в пространстве в разных типах и подтипах почв. Но здесь наблюдаются трудности в связи с постановкой задач по-новому, также как вследствие недостаточности фактических материалов. Имеются одиночные данные [3] органического вещества почвы на орошаемом участке под многолетними травами в слое 0–20 достигал 3593 гДж/га. Энергетические критерии имеют первостепенное значение, потому что энергетический поток управляет химическими, физическими, биологическими и другими процессами в ландшафтах [5, 6]. Общий запас аккумулированной в почве энергии состоит из запасов органических веществ, главным образом гумуса.

В связи с трансформационными и эволюционными или другими видами изменения почв меняется состав и содержание гумуса и его энергетические показатели [7–9]. Почвенный гумус является особым запасом для сельскохозяйственных растений, в нем сосредоточено почти 98% валового азота почв, 30–40% фосфора, 98% серы, 1–2% калия [10]. В гумусе сосредоточено большое количество энергии, среди почвенных типов по энергетическому потенциалу известно, что резко выделяется чернозем.

Запас гумуса, аккумулированный в орошаемых сероземах, играет большую роль в энергетических особенностях почв и почвенного покрова (табл. 1). Из представленных данных видно, что наибольший запас потенциальной энергии приходится на пахотные горизонты орошаемых сероземов.

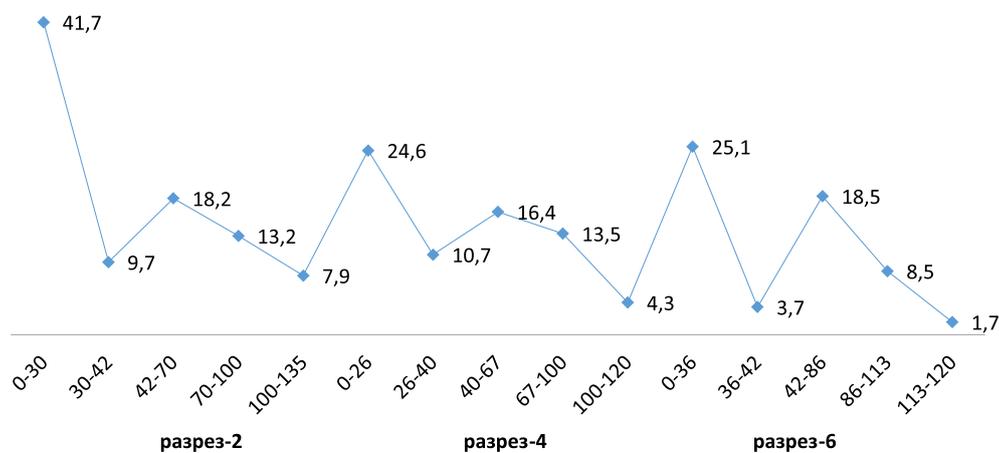
В целях повышения урожайности сельскохозяйственных культур в орошаемых почвах сероземного типа необходимо усилия направить на повышение содержания гумуса и его энергии. Этого можно достичь многими путями, одним из них является максимальное использование остатков озимых культур, которые по нашему расчету ежегодно остаются на полях озимых культур, постепенно, медленно увеличивается содержание гумуса.

Таблица 1

## Энергетический потенциал гумуса орошаемых сероземов

№ разреза	Глубина, см	Содержание гумуса, %	Мощность горизонта, см	Объемная масса, г/см <sup>3</sup>	Энергия гумуса, ккал/г
Темные сероземы, орошаемые					
2	0–30	2,10	30	1,28	41,7
	30–42	1,08	12	1,45	9,7
	42–70	0,96	28	1,31	18,2
	70–100	0,61	30	1,39	13,2
	100–135	0,31	35	1,41	7,9
Типичные сероземы, орошаемые					
4	0–26	1,41	26	1,30	24,6
	26–40	1,01	14	1,47	10,7
	40–67	0,86	27	1,37	16,4
	67–100	0,56	33	1,41	13,5
	100–120	0,29	20	1,44	4,3
Светлые сероземы, орошаемые					
6	0–36	1,03	36	1,31	25,1
	36–42	0,81	6	1,48	3,7
	42–86	0,55	44	1,48	18,5
	86–113	0,41	27	1,48	8,5
	113–120	0,31	7	1,49	1,7

ккал/г



Биоэнергетический потенциал гумуса в профиле орошаемых сероземов

Энергетический потенциал гумуса в почвах сверху вниз по профилю падает, что зависит от содержания органического углерода (рисунок).

Рост биоэнергетического потенциала гумуса связана с ростом биомассы в почвах, а количество биомассы зависит от вида растений. Озимые культуры, в том числе пшеница, в Узбекистане способны давать 3–4 т/га соломы, пожнивных и корневых остатков, и они могут при определенных условиях

повышать содержание гумуса и, соответственно, потенциальной энергии почв с почвенного гумуса.

Для этого необходимы запасы соломы или пожнивных остатков, включая корневые остатки в количестве 1,5–3,0 т/га, которые ежегодно обеспечивают увеличение гумуса почв до 500–600 кг/га. Необходимость увеличения гумуса в орошаемых сероземах объясняется их низким содержанием в исследованных почвах.

**Таблица 2**

Корреляционные связи между содержанием гумуса и его энергии в орошаемых почвах

$M_x$ гумуса	$M_y$ энергии	$\delta$	V	$\psi$
0,80	–	0,49	61,1	0,83
–	14,89	9,87	68,16	–

Интересная картина наблюдается в изменении потенциальной энергии гумуса в генетических горизонтах (табл. 2), которые очевидно коррелируют с содержанием гумуса.

В орошаемых почвах эта связь практически в два раза сильнее и составляет 0,83, т.е. связь положительная и сильная. Аккумулированная почвенным гумусом энергия поможет количественно определить его энергетическую ценность, через которую определяются темпы аккумуляции гумуса. С уменьшением содержания общего запаса гумуса уменьшается его запас потенциальной энергии и балл бонитета почв. Эту теорию проверили путем расчета корреляционных связей между содержанием гумуса и энергии орошаемых сероземных почв. Из приведенных данных видно, что наибольшей потенциальной энергией обладает гумус в 0–30 см слое орошаемых темных сероземов, где содержится гумуса 2,10% при объемной массе 1,28 г/см<sup>3</sup> запас энергии составляет 41,7 ккал/г, а также в горизонте 30–42 см запас потенциальной энергии гумуса при его содержании 1,08% составляет 9,7 ккал/г. Запас потенциальной энергии зависит не только от самого содержания гумуса, а также от его запаса. В целом высокие показатели энергии гумуса в орошаемых почвах приходится на мощность 0–42 см.

Как ожидалось, наименьшее содержание гумуса и его энергии соответствует материнским почвообразующим породам во всех подтипах сероземов. Запас потенциальной энергии гумуса в гумусе почвообразующих пород орошаемых почв колеблется в интервале 1,7–7,9 ккал/г. В связи с изменением содержания гумуса в подтипах целинных, так и орошаемых почв наблюдается снижение запасов потенциальной энергии гумуса и почвы.

### Заключение

Орошение существенно отражается на запасе энергии гумуса орошаемых темных, типичных и светлых сероземов. Энер-

гия гумуса под типовым уровнем практически снижается, начиная с темных к светлым сероземам. Эти изменения наблюдаются практически во всех горизонтах почв. Так, например, в 0–30 см горизонте орошаемых темных сероземов запас энергии гумуса составляет 41,7 ккал/г, тогда как этот показатель практически вдвое меньше в других орошаемых сероземах и т.д. Как ожидалось, имеются корреляционные связи между содержанием гумуса и запасом потенциальной энергии. Корреляция между содержаниями гумуса и его потенциальной энергией в орошаемых типичных сероземах положительная и составляет 0,92, т.е. связь тесная.

### Список литературы

1. Ферсман А.Е. Избранные труды, Т. IV. Изд-во АН СССР, М., 1963. Т. 1–5.
2. Кузиев Р., Юлдашев Г., Акромов И. Бонитировка почв. Т., 2004. 127 с.
3. Аксенова Ю.В. Оценка энергетического потенциала гумуса длительно орошаемой луговой почвы // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 4. С. 32–35.
4. Юлдашев Г., Хайдаров М. Энергетический потенциал гумуса сероземов // Вестник Наманганского государственного университета. Наманган. 2019. № 11. С. 62–67.
5. Юлдашев Г., Хайдаров М. Изменение морфологических и агрохимических свойств темных сероземов Чаткальского хребта // Научное обозрение. Биологические науки. 2019. № 3. С. 42–46.
6. Шодиева Н.И. Гумусное состояние и физико-химические свойства гуминовых кислот горных почв Туркестанского хребта // Вестник аграрной науки Узбекистана. Ташкент. 2017. № 3 (69). С. 12–17.
7. Маргынова Н.А. Химия почв: органическое вещество почв. Изд-во ИГУ, 2011. 253 с.
8. Фузелла Т.Ш. Оценка энергетического потенциала гумуса почв Томской области: материалы XVI Всероссийской научно-технической конференции. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. С. 188–198.
9. Тошкузиев М.М., Шодиева Н.И. Гумусное состояние горных и предгорных почв и вопросы формирования гумусовых веществ // Вестник Киргизского национального университета. 2017. № 2 (43). С. 113–120.
10. Минеев В.Г., Сычев В.Г., Гамзиков Г.П., Шедужен А.Х., Агафонов Е.В., Белоус Н.М., Егоров В.С., Подколзин А.И., Романенков В.А., Торшин С.П., Лапа В.В., Цынагов А.Р., Персикова Т.Ф., Елешев Р.Е., Сапаров А.С. Агрохимия. М., 2017. 853 с.

## СТАТЬЯ

УДК 504.53:631.47:631.445

**ГЕНЕТИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЕСЧАНЫХ МАССИВОВ ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЫ****<sup>1</sup>Исаков В.Ю., <sup>2</sup>Юсупова М.А.***<sup>1</sup>Кокандский государственный педагогический институт, Коканд;**<sup>2</sup>Ферганский государственный университет, Фергана, e-mail: mohidil\_yusupova@mail.ru*

В статье показаны границы распространения песчаных массивов Ферганской долины. Дана агрохимическая характеристика почв, сформированных на территориях песчаных массивов. Научная новизна исследования заключается в следующем: научно обоснованы морфогенез, экомелиоративное состояние, механизм формирования песчаных массивов под комплексным воздействием природного и человеческого фактора; под влиянием антропогенного фактора раскрыто, что изменение механических, общеземельных, физико-химических и агрохимических свойств песчаных, песчаных пустынных и оросительных песчаных почв, распространенных в песчаных массивах Ферганской долины, связано с осадочными глинами в составе поливных вод; установлено, что песчаные почвы в районах, усваиваемые мутными водами Большого Ферганского канала, в течение 15–30 лет перешли в категорию песчаного, легкого песка, а в регионе влияния Большого Андижанского канала сильно изменились по механическому составу песка; определены нормы минеральных удобрений для выращивания хлопчатника на песчаных почвах: самая умеренная норма азота – 150 (100) кг/га, фосфора – 120 и калия – 80 кг/га, обосновано, что в этих нормах соотношение азота к фосфору и калию состоит 1:0,8(1,2):0,6(0,8); было доказано, что выбрасываемый осадок – раша при очистке коллекторов – дренажей оросительных сетей состоит из тяжелых наносов; разработаны нормы внесения в почву, динамика питательных элементов, научно обоснованные рекомендации по сохранению, восстановлению и повышению плодородия орошаемых песчаных почв, а также эффективного их использования.

**Ключевые слова:** песок, супесь, легкий суглинок, песчаная почва, орошение, засоление, механический состав, мутность оросительных вод

**GENETIC AND GEOGRAPHICAL FEATURES OF SAND MASSIFS****<sup>1</sup>Isakov V.Yu., <sup>2</sup>Yusupova M.A.***<sup>1</sup>Kokand State Pedagogical Institute, Kokand;**<sup>2</sup>Ferghana State University, Ferghana, e-mail: mohidil\_yusupova@mail.ru*

The article shows the boundaries of the distribution of the sandy massifs of the Fergana Valley. The agrochemical characteristics of soils formed on the territories of sandy massifs are given. The scientific novelty of the research consists of the following: morphogenesis, eco meliorative state, mechanism of formation of sandy sand massifs under the complex influence of natural and human factors are scientifically proved; It is proved that the change of mechanical, General physical, physico-chemical and agrochemical properties of sandy, sandy and irrigated sandy soils, common in the Sands of Central Fergana under anthropogenic influence, is associated with sedimentary mud in the composition of irrigation waters. It is established that sandy soils in the areas assimilated by muddy waters of the Big Fergana canal within 15-30 years passed into the category of sandy, light sand, and in the region of influence of the Big Andijan canal did not change much in the mechanical composition of sand; the norms of mineral fertilizers for growing cotton on sandy soils are determined: the most moderate norm of nitrogen is 150 (100) kg / ha, phosphorus-120 and potassium – 80 kg/ha. The ratio of nitrogen to phosphorus and potassium in these norms is 1:0,8 (1,2):0,6(0,8); it has been proved that during the cleaning of collectors-burial grounds, irrigation points disposal of the discharged sediment-lattice solution is strongly supported, the filling standards are developed in the dynamics of nutrients; scientifically grounded recommendations on preservation, restoration and increase of productivity of effective use of irrigated sandy soils are developed.

**Keywords:** sand, sandy soil, irrigation, salinization, granulometrical composition, elemental composition

На сегодняшний день «Мировой земельный фонд составляет 13 400 млн гектаров, площадь пустыни 783,3 тыс. км<sup>2</sup>, пески 7041,5 тыс. км<sup>2</sup>. Пахотные земли составляют 11 %, что дает 88 % пищевых продуктов. Большая часть пахотных земель (80 %) находится в засушливых районах. Согласно глобальному и региональному анализу состояния почвенных ресурсов Земли, очень высокий уровень деградации обусловлен антропогенным фактором. Около 15 % земель, то есть около 2 млрд гектаров подвержены антропогенной деградации, в результате при значительном снижении плодородия

почв около 910 млн га слабо, около 300 млн га сильно, 9 млн га очень сильно деградированы, то есть необратимы». Поэтому в земледелии важное научно-практическое значение имеет эффективное использование и охрана песчаных почв путем сохранения, повышения и предотвращения негативных процессов, протекающих в них.

В мире проводятся научно-исследовательские работы по таким приоритетным направлениям, как определение генезиса, текущего состояния песчаных почв, их изменения под воздействием антропогенного фактора, улучшение эколого-мелиоративно-

го состояния, повышение продуктивности, сохранение и эффективное использование. В этой области особое внимание уделяется научно-исследовательской работе, направленной на выявление морфогенетических признаков, химизма, эрозии, засоленности песчаных почв, их специфических особенностей в формировании плодородия, позитивных и негативных изменений, возникающих под влиянием антропогенных и природных факторов, стабильного повышения продуктивности.

Генезис и свойства, эколого-мелиоративное состояние почв песчаных массивов и их изменения под влиянием антропогенного фактора были изучены республиканскими и зарубежными учеными, такими как А.Н. Розанов [1], М.А. Панков [2], К.М. Мирзажонов [3], Г. Юлдашев, А.Т. Турдалиев [4–6], С.Х. Закирова [7], Ш.Я. Эшпулатов [8], А.Т. Турдалиев, К.А. Аскарлов, Ш.А. Джалилова, З.А. Гулова, И.И. Мусаев [9], Лубомир Личнер, Паул Д. Халлетт, Зузана Дронгова, Хенрик Сзачор, Лубомир Ковасик, Джорге Матаих-Солера, Мариан Хомолак [10] и др. Однако вопросы, касающиеся эффективного использования песчаных массивов с учетом их специфических агроэкомелиоративных особенностей и изменений плодородия песчаных почв в условиях орошаемого земледелия, слабо изучены.

Целью исследования является изучение генезиса, свойств и особенностей песков и песчаных почв, освоенных в различные периоды в Центральной Фергане, изменения их эколого-мелиоративного состояния под влиянием антропогенного фактора, а также разработка путей рационального использования и повышения плодородия.

#### **Материалы и методы исследования**

Исследования проводились стандартными методами, общепринятыми в почвоведении, в полевых, лабораторных и камеральных условиях, использованы сравнительно-географические, генетико-морфологические, естественно-исторические методы исследования.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Основные особенности геологического строения и рельефа территории исследования прежде всего неразрывно связаны с геолого-геоморфологической структурой и историей развития Ферганской долины. Центральная Фергана представляет собой целостную грабен-синклиналь, практически со всех сторон ограниченную тектоническими разрывами и трещинами. Климат

Ферганской долины своеобразен, среднегодовое количество осадков составляет от 86 до 205 мм, среднегодовая температура воздуха от 24,8 до 27,6 °С. Количество ветреных дней в году достигает 43 (Коканд) и 27 (Фергана).

Первая и наиболее полная характеристика географии распространения песков в Ферганской долине, форм, строения и формирования барханов, барханно-холмистых гряд и других песчаных образований, а также ценные высказывания о генезисе песков принадлежит В. Наливкину. Происхождение и эволюция песков, формы рельефа песчаных образований, морфогенетические особенности почвообразования и ряд свойств песков анализированы в работах А.Н. Розанова. А.М. Панковым произведен ретроспективный анализ результатов исследований прежних лет и дана обобщающая характеристика песков Ферганской долины.

Подходы к песчаным территориям, а также к песчаным почвам, их генетико-географическому статусу, развитию, определению их места в классификации почв различны. Пески рассматривались как неживые субстраты, лишённые каких-либо жизненных процессов, как своеобразная среда для жизни растений и развития процессов почвообразования, как относительно бесплодные почвы, в которых замечаются ясные признаки влияния атмосферных и биологических агентов. А.Н. Розанов, анализируя условия почвообразования в песчаных пустынях Средней Азии и данные о песчаных почвах, показывает, что процесс почвообразования в этом регионе развивается по типу сероземов почв, одобряет впервые предложенную Н.А. Димо идею называть почвы среднеазиатских песчаных пустынь «рыхлопесчаными светлосемами» и описывает их как «рыхлопесчаные и песчаные сероземы». М.А. Панков рассматривает пески и песчаные почвы как отдельные группы пустынных почв – «рыхлые песчаные почвы пустынь». В классификации почв Узбекистана они получили название «песчаные пустынные почвы». Это название было признано и другими учеными.

Непрерывные песчаные массивы Ферганской долины начинаются возле г. Ходженд. Небольшая часть их ныне находится под Кайраккумским водохранилищем. Южная граница массивов через кишлак Махрам проходит далее по северной части кишлаков Саид-мазар, Шарварда, Кора-куйли, Кияли, Дултали, Дехкандуда, Ён, Каламыш, Полвонташ, Турт Айгир, Таргова, Даучар, Алтыкуш, Кашкар, Коракурпа, Чанкент, Бойвучча, Султан Боязид, Бегават, затем восточнее кишлаков Ханабад, Каримбобо,

Каровултепа и Багдад (к северу от пустыни Каракалпак), а отсюда по ломаной, частью по кривой линии граница обходит деревню Такали, и далее у Северного Такали граница поворачивается на Язъяван, а отсюда, описывая неправильно изогнутую дугу, она направляется к Мингбулаку, а затем мимо деревень Гуртепа, Дамкул, Мазгил, Гаузак, Куштепа, Кундук, Абу Самад идет на Чил-Махрам. Здесь граница песков переходит на правый берег р. Сирдарья и идет сначала на Камыш Курган, гору Супа-тау и Мазар, Ходжа ягана, а далее почти по прямой линии, вдоль подножия Ак-Бель до пересечения с рекой несколько восточнее меридиана кишлака Катаган.

Для песчаных массивов характерны барханные, барханно-холмистые, холмисто-увалистые грядовые формы рельефа. Между грядами имеются песчаные равнины, долиноподобные и озеровидные понижения, где развиты пустынно-песчаные, луговые, лугово-болотные и др. почвы. Передвижные пески не имеют следов почвообразования. На закрепленных песках наблюдается слабое окрашивание гумусом, относительно большое количество корешков, обогащение механического состава пылевыми частицами.

Большая часть долинных песков считается мелкозернистой песчано-пылевой. Содержание фракции песка в механическом составе барханных и барханно-грядовых песков достигает 99%. Эта величина в песках с растительным покрытием составляет 95–96%, в песчаных пустынных почвах – 96–97%. Количество физической глины колеблется от 0,4% до 4,7%.

В фракциях песка абсолютный приоритет принадлежит частицам среднего песка – размером 0,25–0,1 мм (до 78–80%). На втором месте – крупные пески (1,0–0,25), а на третьем – мелкие (0,1–0,05) фракции

песка. Количество фракций частиц пыли не превышает 1–1,5%. Сумма физической глины не более 2,5–3%.

Арзыковые пустынно-песчаные почвы, сформированные в северо-западной части периферии Шахимарданского конуса выноса, отличаются тяжелым механическим составом средней и нижней частей профиля. Эти же горизонты содержат гипс и карбонаты, общее количество которых в арзыконосных горизонтах составляет 50–70%. Эти же почвы засолены легкорастворимыми солями. Им характерно очень низкое содержание гумуса и питательных элементов (табл. 1).

Довольно большая часть песчаных массивов освоена под орошаемое земледелие. При этом сильно изменено естественное состояние песков. При освоении-планировочных работах выпуклые элементы рельефа песчаных массивов были срезаны, а пониженные части заполнены срезанными грунтами – преимущественно песками. Почвы их остались погребенными. Толщина насыпного песка достигает 1–1,5 м, иногда еще толще.

Почвенно-грунтовая толща понижений часто засолена легкорастворимыми солями. Эти засоленные слои, при тяжелом механическом составе, после погребения могут стать водоупором для фильтрационных вод. Значительно большие запасы солей в них могут стать источником вторичного засоления.

Под влиянием антропогенного фактора на месте специфических природных песчаных ландшафтов образованы высокочувствительные к внешним воздействиям агроландшафты. В результате выравнивающих работ природные почвы песчаных месторождений были захоронены под заваленными песками толщиной от 0,3–0,5 до 1,5–2 м. Их дальнейшее развитие связано с орошением и применяемыми агромероприятиями.

Таблица 1

Количество гумуса и питательных элементов в почвах песчаных массивов, %

№ разреза	Глубина, см	Гумус, %	Общий азот, %	Валовый калий, %	Валовый фосфор, %
13	0–7	0,88	0,034	1,42	0,118
	7–28	0,64	0,032	1,51	0,105
	28–52	0,86	0,032	1,34	0,112
	52–80	0,58	0,030	0,74	0,062
32	0–1	0,62	-	1,21	0,104
	1–3	0,50	0,023	1,28	0,092
	4–15	0,44	0,020	1,21	0,092
	15–36	0,29	0,011	0,90	0,074
36	0–68	0,54	0,022	1,42	0,105
	69–84	0,49	0,027	0,96	0,078

Механический состав новоосвоенного песка (земель песчаного массива), прошедшего мелиоративную подготовку, практически не изменен. Наблюдалось увеличение количества физической глины в пахотных и подпахотных горизонтах. В механическом составе песков пятилетней давности освоения наблюдается обогащение пылеватыми и илистыми частицами. С увеличением периода использования песчаных земель в орошаемом земледелии произошли довольно серьезные изменения в их экомелиоративном состоянии. Так, в профиле орошаемых песков (песчаных почв), которые поливаются более 15 лет, наблюдается увеличение содержания пыли и ила. А в песчаных почвах, орошаемых более 30 лет, песчаный механический состав преобразовался в супеси. Песчаные почвы, освоенные более 50 лет назад, перешли в категорию легкого суглинка.

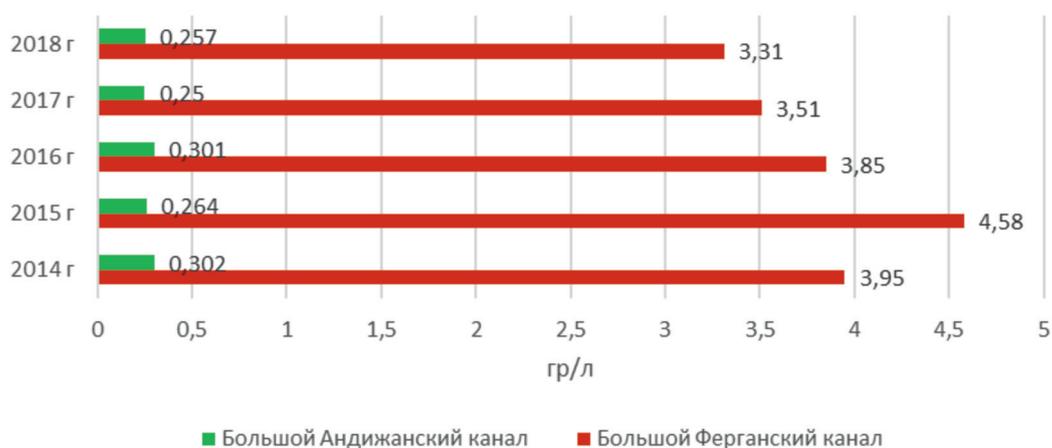
За прошедшие годы количество гумуса увеличилось в пахотных и подпахотных слоях. Было также обнаружено увеличение количеств валовой и подвижных форм фосфора и калия.

Изменение механического состава орошаемых песчаных почв неразрывно связано с мутностью источников поливных вод. Земли песчаных массивов, и вообще основная часть земель Центральной Ферганы, орошаются водами Большого Ферганского (БФК) и Большого Андижанского (БАК) каналов, воды которых резко различаются по степени мутности (рисунок). Так, мутность вод БФК зимой составляет 0,4–0,7 кг/м<sup>3</sup>, в вегетационный период повышается до 1–1,5 кг/м<sup>3</sup>

(табл. 2). И пески, орошаемые мутными водами БФК, в течение 30–50 лет стали супесчаными и легкосуглинистыми. Воды же БАК, который берет своё начало от Андижанского водохранилища, содержат ничтожное количество твердых сточных веществ.

Соответственно, механический состав песчаных почв, находящихся в зоне влияния БАК с низким уровнем мутности, за вышеуказанное время практически не изменился. А в зоне влияния Большого Ферганского канала верхние слои песка превратились в песок в течение такого периода полива под воздействием мутной воды. Песчаный слой имеет в 3–6 раз больше физической глины и крупных частиц пыли по сравнению с нижними песчаными слоями разреза. Объем мелкого песка также увеличился. А количество частиц размером более 0,10 мм соответственно уменьшилось. Литологическая структура разреза грунта характеризуется тем, что слои с различным механическим составом имеют разную толщину и разную последовательность.

Механический состав легкосуглинистых почв отличается большим количеством мелкопесчаных фракций (размерами 0,10–0,05 мм). Их содержание достигает 44%, а крупной пыли (0,05–0,01 мм, 43–47%). Среднесуглинистым почвам характерно большое количество крупной пыли (24–55%). В механическом составе тяжело-суглинистых почв все фракции пыли, особенно средней и крупной пыли, занимают ведущее место. В то же время в механическом составе глин преобладают фракции средней и мелкой пыли (25%).



Уровень мутности поливных вод Большого Ферганского и Большого Андижанского каналов, г/л (2014–2018 гг.)

Таблица 2

Мутность воды Большого Ферганского и Большого Андижанского каналов, г/л (2014–2018 гг.)

Месяцы Годы	Большой Ферганский канал					Большой Андижанский канал				
	2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018
Январь	2,28	3,8	4,4	3,4	3,1	0,160	0,286	0,320	0,280	0,240
Февраль	4,3	5,3	5,1	3,5	4,3	0,400	0,268	0,368	0,350	0,250
Март	4,9	8,1	5,6	5,9	13,7	0,300	0,300	0,390	0,400	0,300
Апрель	6,2	8,8	5,2	7,6	11,0	0,480	0,344	0,415	0,440	0,380
Май	6,4	7,0	6,0	6,2	11,4	0,520	0,448	0,480	0,410	0,618
Июнь	6,6	4,1	5,1	5,7	10,2	0,540	0,220	0,384	0,400	0,450
Июль	4,6	2,7	4,0	2,6	3,4	0,300	0,200	0,356	0,208	0,280
Август	3,6	2,64	2,2	1,9	2,3	0,232	0,240	0,180	0,140	0,210
Сентябрь	2,4	2,24	2,1	1,5	1,4	0,170	0,184	0,175	0,102	0,106
Октябрь	2,5	3,28	2,6	1,7	1,1	0,200	0,216	0,212	0,120	0,090
Ноябрь	2,06	2,92	2,1	1,1	1,1	0,180	0,248	0,170	0,080	0,094
Декабрь	1,6	2,24	1,8	1,1	0,8	0,152	0,224	0,165	0,075	0,074
Средн.	3,95	4,58	3,85	3,51	3,31	0,302	0,264	0,301	0,250	0,257

Ландшафты, а также составляющие их компоненты неразрывно связаны и находятся в состоянии общего экологического равновесия. Однако естественное экологическое равновесие песчаных массивов Ферганской долины находится под серьезной угрозой: площади природных ландшафтов песчаных массивов сильно сокращаются, на их месте появляются крайне чувствительные к различным внешним воздействиям агроценозы с низкой эффективностью, резко снижается биоразнообразие, усиливаются процессы деградации. Все это требует расширения и углубления сферы исследования природных компонентов и орошаемых почв песчаных массивов, а также изменения их свойств и влияния их на соседние комплексы.

#### Список литературы

1. Розанов А.Н. Пески Ферганской долины. Работы сектора песков и пустынь. Тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева АН СССР, т. XVII. М.-Л., 1938. С. 119.
2. Панков М.А. Почвы Ферганской области. В кн.: Почвы Узбекской ССР. Том II. Ташкент: Изд. АН УзССР, 1957. С. 7–159.

3. Мирзажанов К.М. Лик Центральной Ферганы впрямее и настоящее время. Ташкент, 2014. С. 159–173.

4. Юлдашев Г., Турдалиев А. Геохимические особенности циклических элементов в агроландшафтах пустынь // Аграрная наука. Всероссийский научный аграрный журнал. 2014. № 1. С. 15–17.

5. Турдалиев А.Т., Юлдашев Г. Геохимия педолитных почв: монография. Ташкент, 2015. С. 200.

6. Turdaliev Avazbek Turdalievich, Yuldashev Gulyam. Morphological features of pedolitical soils in Central Ferghana. European science review. 2016. № 5–6. P. 14–15.

7. Закирова С.Х. Научные основы генезиса, агрофизических и агрохимических свойств, повышения производительной способности песков Центральной Ферганы: дис. ... докт. с.-х. наук. Ташкент, 2017.

8. Эшпулатов Ш.Я., Турдалиев А.Т., Мирзаев Ф. Почвенно-археологический метод для определения возраста древних орошаемых палеопочв // Актуальные вопросы современной науки. 2017. № 2. С. 63–67.

9. Турдалиев А.Т., Аскарков К.А., Жалилова Ш.А., Гулова З.А., Мусаев И.И. Физико-химические, геохимические особенности и их влияние на почвенно-экологическое состояние гидроморфных почв // Научное обозрение. Биологические науки. 2019. № 4. С. 44–49.

10. Lubomir Lichner, Paul D. Hallett, Zuzana Drongova, Henryk Czachor, Lubomir Kovacic, Jorge Mataix-Solera, Marian Homolak. Algae influence the hydrophysical parameters of a sandy soil. Catena journal homepage. 2013. № 108. P. 58–68.

СТАТЬЯ

УДК 504.064.3

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКСИЧНОСТИ ПОЧВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ  
ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**Каманина И.З., Каплина С.П., Чигоева Д.Н.**

*Государственный университет «Дубна», Дубна, e-mail: kamanina@uni-dubna.ru*

В работе проведена экотоксикологическая оценка отходов Мизурской горно-обогатительной фабрики, а также почв, базового компонента экосистемы, в зоне влияния горнопромышленного комплекса Республики Северная Осетия – Алания. Исследования проводили на трех ключевых участках: в районе Села Верхний Унал (штольня № 43 месторождения Холст); в непосредственной близости от Унальского хвостохранилища (по правому берегу р. Ардон согласно простиранию хвостохранилища); в районе Фиагдонского хвостохранилища. Оценка степени токсичности проводили с помощью двух тест-объектов: представителя высших растений – редиса *Raphanus sativus* и зеленой протококковой водоросли *Chlorella vulgaris* Beijer. Большинство обследованных почв высоко и очень высоко гумусированные, близкие к нейтральным. Рекультивированный участок Фиагдонского хвостохранилища характеризуется высокой неоднородностью верхнего гумусированного слоя. В районе с. Верхний Унал выявлены небольшие участки с умеренным фитотоксичным действием почв в зоне влияния Унальского хвостохранилища и штольни № 43 месторождения Холст. Почвы в районе Фиагдонского хвостохранилища, в том числе на рекультивированном участке, не оказывают токсического действия на используемые тест-культуры высших растений *Raphanus sativus* и водоросли *Chlorella vulgaris* Beijer. Отходы Мизурской обогатительной фабрики, размещенные на территории Унальского хвостохранилища, являются высокотоксичными.

**Ключевые слова:** хвостохранилище, токсичность, почва, тяжелые металлы, биотестирование, загрязнение, Северная Осетия – Алания

**DETERMINATION SOIL TOXICITY IN THE AREA OF THE MINING  
INDUSTRY INFLUENCE**

**Kamanina I.Z., Kaplina S.P., Chigoeva D.N.**

*Dubna State University, Dubna, e-mail: kamanina@uni-dubna.ru*

In this work an ecotoxicological assessment of the waste of the Mizur mining and processing plant and soils, as a basic component of the ecosystem, in the territory of influence of the mining and industrial complex of the Republic of North Ossetia-Alania was carried out. The researches were carried out in three basic areas: in the area of the village of Upper Unal (adit No. 43 of the Kholst deposit); near the Unalsky tailing dump (along the right bank of the river Ardon according to the tailing dump strike); in the area of the Fiagdon tailing dump. The toxicity degree was assessed using two test objects: the higher plants – the radish *Raphanus sativus* and the green protococcal algae *Chlorella vulgaris* Beijer. The most of the studied soils are highly humus and near neutral. The recultivated area of the Fiagdon tailing dump is characterized as a high heterogeneity of the upper humus layer. Near the the village of Upper Unal the small areas with a moderate phytotoxic effect of soils in the zone of influence of the Unalsky tailing dump and adit No. 43 of the Kholst deposit were revealed. The soils in the area of the Fiagdon tailing dump do not have a toxic effect on the test cultures of higher plants *Raphanus sativus* and algae *Chlorella vulgaris* Beijer that were been used. The wastes from the Mizur concentration plant that located on the territory of the Unalsky tailing dump is highly toxic.

**Keywords:** tailing dump, toxicity, soil, heavy metals, biotesting, pollution, North Ossetia-Alania

В настоящее время большое внимание уделяется оценке состояния почв как базового компонента экосистемы. Загрязнение почвы токсикантами может привести к целому ряду негативных последствий: воздействию на живые организмы; нарушению экологического равновесия в почвенном биоценозе, деградации растительного сообщества, изменению физико-химических свойств почвы, снижению сельхозпродуктивности и др. Почва как депонирующая среда накапливает информацию о происходящих процессах и изменениях, в том числе загрязняющих веществ, процессы самоочищения происходят крайне медленно. Для оценки и контроля загрязнения почв наряду с химико-аналитическими ме-

тодами широко применяются методы биотестирования с использованием различных тест-объектов [1–3]. Это позволяет не только определить токсичность тех или иных веществ, но и их суммарное воздействие, получить более объективную информацию о неблагоприятном воздействии природных и антропогенных факторов.

Цель настоящей работы провести экотоксикологическую оценку почв в зоне влияния горнопромышленного комплекса Республики Северная Осетия – Алания.

**Материалы и методы исследования**

Объектом исследования являлись почвы в Алагирском районе в зоне влияния объектов Садонского свинцово-цинкового комби-

ната – крупнейшего предприятия по добыче и обогащению полиметаллических руд, созданного в 1922 г. В состав комбината входят Мизурская и Фиагдонская обогатительные фабрики. Почвы были отобраны в 2017 г. на трех ключевых участках, всего было отобрано 46 почвенных проб и 2 пробы отходов с пляжной зоны Унальского хвостохранилища. При пробоотборе во всех точках регистрировались координаты с помощью системы GPS-навигации. Отбор проб почвы, их транспортировка и хранение осуществляют в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83 «Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб» [4], ГОСТ 17.4.4.02-84 «Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа» [5]. Каждая проба представляла собой смешанный образец (из пяти точечных проб), отобранный с площадки 10x10 м методом «конверта», массой не менее 1 кг. Пробы отбирали из верхнего горизонта на глубину 0–10 см – для почв населенных пунктов и 0–20 см – для сельскохозяйственных земель. Первый ключевой участок располагался в районе с. Верхний Унал. Село Верхний Унал расположено на берегу р. Уналдон, притока р. Ардон. На расстоянии 300–500 м в северо-западном направлении от с. Верхний Унал находится штольня № 43 месторождения Холст. В настоящий момент работы по добыче полиметаллических руд в данном районе не ведутся. В районе штольни № 43 пробы отбирали на различном удалении от выхода штольни в северном, северо-восточном, восточном, юго-восточном, южном, юго-западном, западном и северо-западном направлениях. На данном участке было отобрано 22 пробы. Второй ключевой участок расположен в непосредственной близости от Унальского хвостохранилища Мизурской обогатительной фабрики, которое было введено в эксплуатацию в 1984 г. В настоящее время хвостохранилище рекультивировано, но на момент отбора проб эксплуатировалось. Пробы почв были отобраны по правому берегу р. Ардон согласно простиранию Унальского хвостохранилища. Всего было отобрано 7 проб. Третий ключевой участок располагался в районе Фиагдонского хвостохранилища Фиагдонской горно-обогатительной фабрики, расположенного в Куртатинском ущелье у северо-восточной окраины поселка Верхний Фиагдон, введенного в эксплуатацию в 1971 г. На момент исследования хвостохранилище рекультивировано. Всего было отобрано 17 почвенных проб, в том числе на территории рекультивированного участка. Кроме того, были исследованы

две пробы отходов Мизурской обогатительной фабрики, отобранные с пляжной зоны Унальского хвостохранилища.

После пробоотбора все пробы были доставлены в химическую лабораторию, где высушены до состояния воздушно-сухой смеси, измельчены, просеяны через сито с диаметром 1 мм, подготовлены для дальнейших аналитических измерений.

Оценку степени токсичности проводили с помощью двух тест-объектов: представителя высших растений *Raphanus sativus* и водоросли *Chlorella vulgaris* Beijer. Именно эти тест-объекты часто применяют для определения токсичности загрязненных почв [6–8].

Метод фитотестирования широко применяется для определения токсичности агроценозов [3], а также почв, испытывающих антропогенное воздействие [7–10]. Суть метода заключается в подавлении роста и развития корневой системы высших растений под воздействием на них химических веществ, предпочтительно использовать мелкие семена высших растений с небольшим запасом питательных веществ. Для исследования были выбраны семена редиса (*Raphanus sativus*) сорта «Французский завтрак», так как такой тест-объект обладает высокой степенью прорастания и повышенной чувствительностью к токсическим веществам [6]. Токсичность определяли по снижению длины корней проростков семян в водных вытяжках из анализируемых почвенных образцов по сравнению с контролем, выраженному в процентах. В качестве контроля был использован почвенный образец, отобранный с участка, не подвергнутого техногенной нагрузке. Площадка отбора контрольной пробы находилась вне влияния господствующего направления ветра, штольневых вод и стоков атмосферных выпадений.

Исследования проводились согласно методике [11]. Сначала была определена всхожесть семян редиса (*Raphanus sativus*), которая составила 99%. Далее из каждого образца почвы была приготовлена водная вытяжка из расчета 1 часть почвы: 1 часть водопроводной воды без CO<sub>2</sub>. Масса пробы, взятой для анализа, составляла 100 г, взбалтывание на ротаторе производилось в течение 2,5 ч. Семена редиса в количестве 216 шт. помещались в стаканчик, в который далее приливали 4 см<sup>3</sup> фильтрата почвенной вытяжки. Через 24 ч неповрежденные семена из стаканчика по 50 шт. были разложены по чашкам Петри (4-кратная повторность для получения достоверных результатов), где равномерно распре-

делены на поверхности предварительно смоченных водой фильтров. Далее все чашки Петри были помещены в термостат при температуре 25 °С и выдерживались в течение 48 ч. Через двое суток на третьей (72 ч) была рассчитана средняя длина проросших корешков. В случае угнетения роста корней определялась суммарная токсичность. Степень токсичности и класс опасности почв определялся по эффекту торможения роста корней, по сравнению с контролем, выраженному в % (табл. 1).

средней величины оптической плотности по сравнению с контролем, на 20 % и более, если фиксируется подавление роста тест-культуры, или оптической плотности, повышение на 30 % и более в случае стимулирования роста.

Токсикологические характеристики изучаемой пробы устанавливали через величину токсичной кратности разбавления водных вытяжек согласно табл. 2. Проба считалась нетоксичной, если критерий токсичности не превышен ни при одном разбавлении пробы,

**Таблица 1**

Классификация почв по суммарной токсичности [11]

Класс опасности	Характеристика	Эффект торможения роста корней, %
1	Чрезвычайно токсичные	> 75
2	Высоко токсичные	50–75
3	Умеренно токсичные	20–50
4	Малотоксичные	< 20

**Таблица 2**

Токсикологические характеристики качества пробы [12]

Величина разбавления тестируемой пробы, при которой превышен критерий токсичности	Качество пробы
1 (неразбавленная)	слаботоксичная
3	токсичная
9	среднетоксичная
27	сильнотоксичная
81	гипертоксичная

Вторым методом, который использовался для определения токсичности почв, был метод по изменению оптической плотности тест-культуры зеленой протококковой водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) [12]. В основе метода лежит регистрация различий в величине оптической плотности тест-культуры водоросли хлорелла, выращенной на среде, не содержащей токсических веществ (контроль) и в тестируемых пробах. Эффективность применения тест-культуры хлореллы (*Chlorella vulgaris* Beijer) была показана на примере антропогенно нарушенных почв [8].

В соответствии с методикой [12] для определения токсичности были приготовлены водные вытяжки из каждого образца почвы (соотношение почва:вода – 1:4). Для осветления и освобождения от взвешенных частиц водные вытяжки центрифугировались (10 мин при 4000–4500 об/мин). Степень острого токсического воздействия определяли после 22 ч выращивания в культиваторе по разнице величины оптической плотности тест-культуры. Критерием токсичности пробы является снижение

включая ее исходный неразбавленный вариант. В случае превышения критерия токсичности качество пробы устанавливалось по наибольшей величине разбавления.

### Результаты исследования и их обсуждение

В районе исследования распространены горно-луговые, горно-луговые черноземовидные и горные лугово-степные почвы. На рекультивированном участке Фиагдонского хвостохранилища диагностируются техногенные почвы с насыпным гумусированным слоем, мощность которого колеблется от 5 до 30 см. Почвы в районе Села Верхний Унал (участок № 1) близкие к нейтральным, среднее значение величины рН водной вытяжки составляет 6,6, изменяется в диапазоне от 5,72 до 7,60 (табл. 3). Более 85 % обследованных почв относятся к высоко и очень высокогумусным (содержание гумуса ≥ 6%). Почвы, отобранные в непосредственной близости от Унальского хвостохранилища (участок № 2), имеют более щелочную рН (7,5), среднее содержание гумуса составляет 7,8% (табл. 3), значения

варьируют от 5,2 до 10,9%. Почвы в районе Фиагдонского хвостохранилища (участок № 3) отличаются меньшей мощностью гумусового горизонта и содержанием гумуса, среднее содержание гумуса составляет 4,6%. Только в двух пробах содержание гумуса соответствует высокогумусированным почвам. Величина pH водной вытяжки колеблется от 5,72 до 8,42. Рекультивированный участок Фиагдонского хвостохранилища от-

личается высокой неоднородностью верхнего гумусированного слоя. Величина pH водной вытяжки колеблется от 5,50 до 7,71, что в целом соответствует природным почвам в районе хвостохранилища. Большую часть обследованной территории можно отнести к низкогумусовым и очень низкогумусовым почвам (содержание гумуса  $\leq 4\%$ ). Только в одной пробе содержание гумуса составило 13% (табл. 3).

Таблица 3

Результаты исследования образцов почвы в Алагирском районе в зоне влияния объектов Садонского свинцово-цинкового комбината, РСО-Алания

№ пробы	pH <sub>вод</sub>	Гумус, %	Характеристика токсичности	
			Эффект торможения роста корней, на тест-культуре <i>Raphanus sativus</i>	Наличие токсического действия на тест-культуру <i>Chlorella vulgaris</i> Beijer
Участок № 1, район села Верхний Унал				
1	6,67	7,1	45%, умеренно токсичная	нетоксичная
2	6,73	10,4	2%, малотоксичная	слаботоксичная
3	6,21	8,5	2%, малотоксичная	слаботоксичная
4	7,12	4,9	отсутствует, нетоксичная	нетоксичная
5	6,43	9,1	отсутствует, нетоксичная	слаботоксичная
6	6,95	6,4	отсутствует, нетоксичная	слаботоксичная
7	6,60	7,7	отсутствует, нетоксичная	слаботоксичная
8	6,91	7,1	отсутствует, нетоксичная	нетоксичная
9	7,12	3,2	отсутствует, нетоксичная	нетоксичная
10	7,44	7,7	отсутствует, нетоксичная	слаботоксичная
11	6,17	10,1	отсутствует, нетоксичная	слаботоксичная
12	7,12	5,3	отсутствует, нетоксичная	нетоксичная
13	5,72	13,6	отсутствует, нетоксичная	слаботоксичная
14	6,92	7,3	отсутствует, нетоксичная	слаботоксичная
15	6,35	8,5	2%, малотоксичные	нетоксичная
16	6,56	4,5	отсутствует, нетоксичная	нетоксичная
17	6,00	11,4	отсутствует, нетоксичная	нетоксичная
18	6,14	15,5	отсутствует, нетоксичная	слаботоксичная
19	6,31	17,3	отсутствует, нетоксичная	слаботоксичная
20	6,64	11,6	отсутствует, нетоксичная	слаботоксичная
21	6,19	7,1	отсутствует, нетоксичная	нетоксичная
22	7,6	17,5	отсутствует, нетоксичная	нетоксичная
Участок № 2, вдоль Унальского хвостохранилища				
1	7,5	10,0	29,1%, умеренно токсичная	малотоксичная
2	7,5	5,9	отсутствует, нетоксичная	нетоксичная
3	7,4	10,9	отсутствует, нетоксичная	нетоксичная
4	7,6	7,4	отсутствует, нетоксичная	нетоксичная
5	7,5	7,8	13%, малотоксичная	нетоксичная
6	7,5	7,4	15%, малотоксичная	нетоксичная
7	7,4	5,2	8%, малотоксичная	слаботоксичная
Участок № 3, в районе Фиагдонского хвостохранилища				
1	7,65	4,85	отсутствует, нетоксичная	нетоксичная
2	7,42	6,73	1%, малотоксичная	нетоксичная
3	7,71	н/о	7%, малотоксичная	нетоксичная

Окончание табл. 3

№ пробы	рН <sub>вод</sub>	Гумус, %	Характеристика токсичности	
			Эффект торможения роста корней, на тест-культуре <i>Raphanus sativus</i>	Наличие токсического действия на тест-культуру <i>Chlorella vulgaris</i> Beijer
4	7,02	2,44	отсутствует, нетоксичная	нетоксичная
5	5,50	2,85	отсутствует, нетоксичная	нетоксичная
6	6,75	2,36	отсутствует, нетоксичная	нетоксичная
7	7,14	1,35	отсутствует, нетоксичная	нетоксичная
8	6,06	1,45	отсутствует, нетоксичная	нетоксичная
9	5,75	5,45	отсутствует, нетоксичная	нетоксичная
10	6,23	5,09	отсутствует, нетоксичная	нетоксичная
11	7,48	13,79	отсутствует, нетоксичная	нетоксичная
12	7,28	2,07	н/о	нетоксичная
13	7,61	3,79	отсутствует, нетоксичная	нетоксичная
14	7,75	4,85	отсутствует, нетоксичная	нетоксичная
15	5,72	3,88	отсутствует, нетоксичная	нетоксичная
16	7,79	6,56	н/о	нетоксичная
17	7,98	9,48	отсутствует, нетоксичная	н/о
Отходы из пляжной зоны Унальского хвостохранилища				
1	н/о	н/о	н/о	высокотоксичные
2	н/о	н/о	н/о	высокотоксичные

Примечание. Н/о – не определялось.

Исследования по определению фитотоксичности почв, отобранных на участке № 1 в районе с. Верхний Унал, на основе определения суммарного показателя токсичности показали угнетение роста корней редиса только в одной пробе. Данная проба почвы отобрана на расстоянии 100 м на запад от штольни № 43 месторождения Холст. Степень угнетения роста корней составила 45 %, что классифицируется как «умеренно токсичная» почва 3 класса опасности. Токсичность почвы в данном районе, вероятно, обусловлена ее расположением относительно движения штольневых вод и градиента рельефа. Для остальных проб участка № 1 в районе села Верхний Унал эффект торможения отсутствует (длина проростков больше, чем в контрольной пробе), или составляет менее 3%. Для почв, отобранных на участках № 2, в непосредственной близости от Унальского хвостохранилища, в половине проб эффект торможения роста корней отсутствует, в 3 пробах из 7 эффект торможения роста корней составил от 8 до 15%. В районе Фиагдонского хвостохранилища эффект торможения роста корней *Raphanus sativus* отсутствует во всех анализируемых пробах почв, в том числе и с рекультивированной части хвостохранилища. Это позволяет классифицировать данные почвы как «малотоксичные».

При исследовании образцов почв на тест-культуре зеленой протококковой водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) было установлено, что в почвенных вытяжках без разбавления отмечалось снижение средней величины оптической плотности по сравнению с контрольным вариантом на 20 и более процентов только в двух пробах почв: на участке № 1 в пробе, расположенной в 100 м на северо-запад от штольни № 43 (на 39,6%), на участке № 2 в 800 м на юго-запад от хвостохранилища в устье реки Уналдон (на 38,1%). В неразбавленных вытяжках из образцов с пляжной зоны Унальского хвостохранилища отмечалось снижение средней величины оптической плотности по сравнению с контрольным вариантом на 77,95%. Повышение средней величины оптической плотности по сравнению с контрольным вариантом, связанное со стимуляцией ростовых процессов более чем на 30%, отмечалось на участке № 1 в пробе, отобранной в 250 м на восток от хвостохранилища (на 52%), на участке № 2 в половине исследованных проб повышение составило от 31 до 270%. После разбавления токсическое действие на тест-культуру *Chlorella vulgaris* Beijer, вызывающее снижение средней величины оптической плотности по сравнению с контролем, отмечалось в двух пробах почв: в 100 м на запад от штольни № 43 и в 800 м на юго-

запад от хвостохранилища в устье реки Уналдон. Возможным источником токсичных соединений могут быть штольневые воды, попадающие как в р. Уналдон [13], так и на прилегающую территорию по градиенту рельефа. По результатам биотестирования с использованием тест-культуры *Clorella vulgaris* Beijer эти почвы характеризуются как «слаботоксичные». В остальных пробах после разбавления в 2–3 раза почвенные вытяжки не оказали токсического действия на тест-культуру *Clorella vulgaris* Beijer.

Вытяжки из образцов из пляжной зоны Унальского хвостохранилища не оказывали токсического действия только после разбавления в 27 раз, что свидетельствует о высокой токсичности отходов, складированных на территории Унальского хвостохранилища (табл. 3). В составе отходов присутствуют элементы (Pb, Zn, Cd, Cu, Ni и др.), обладающие высокой токсичностью [14].

Почвенные вытяжки с участка № 3 (район Фиагдонского хвостохранилища) не оказали токсического действия на тест-культуру зеленой особенности протококковой водоросли торговых хлорелла *Clorella vulgaris* Beijer.

#### Заключение

1. Отходы Мизурской обогатительной фабрики, размещенные на территории Унальского хвостохранилища, являются высокотоксичными.

2. В зоне влияния Унальского хвостохранилища и штольни № 43 месторождения Холст выявлены небольшие участки с умеренным фитотоксичным действием почв.

3. Рекультивированный участок Фиагдонского хвостохранилища характеризуется неоднородностью верхнего гумусированного слоя как по мощности, так и по составу. По результатам биотестирования почвы в районе Фиагдонского хвостохранилища не оказывают токсического действия на используемые тест-культуры высшего растения *Raphanus sativus* и водоросли *Chlorella vulgaris* Beijer.

4. Комплексное использование тест-объектов является достаточно информативным и может применяться при изучении степени загрязнения территорий. Данные, полученные в результате биотестирования,

могут использоваться в качестве дополнительной информации при проведении экологической оценки почвенного покрова.

#### Список литературы

1. Дорохина З.П. Фитоиндикация процессов деградации почв: основные термины и определения // Вестник науки. 2018. Т. 3. № 8 (8). С. 229–237.
2. Васильев А.В., Заболотских В.В., Васильев В.А., Ганин А.И. Подходы к созданию обобщенной теории мониторинга токсикологических загрязнений биосферы и их практическое использование // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20. № 5 (4). С. 513–521.
3. Филипчук О.Д. Системное биотестирование компонентов агробиоценоза на экологическую безопасность // Агрохимия. 2018. № 9. С. 84–92.
4. ГОСТ 17.4.3.01-83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. М.: Изд-во стандартов, 1984. 7 с.
5. ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического бактериологического, гельминтологического анализа. М.: Изд-во стандартов, 1985. 12 с.
6. Блинова З.П. Биотестирование почвенного покрова городских территорий с использованием проростков *Raphanus sativus* // Вестник МГОУ. Серия «Естественные науки». 2014. № 1. С. 18–23.
7. Попова Е.И. Определение токсичности почв города Тобольска методом биотестирования // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 4. С. 216.
8. Казакова Н.А. Определение токсического загрязнения почв промышленной зоны методом биотестирования // Современные методы развития науки и технологий. 2015. № 6–3. С. 64–67.
9. Гончарова В.Г., Грудина В.В., Чудинова О.Н., Чередова Т.В. Определение фитотоксичности почв на несанкционированных свалках г. Улан-Удэ // Научные труды КубГТУ. 2019. № 3. С. 794–802.
10. Максимова Н.Б., Морковкин Г.Г., Лаврентьева А. Оценка токсичности и загрязненности почв методом фитоиндикации // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2003. № 2. С. 106–112.
11. Минеев В.Г. Практикум по агрохимии. 2-е изд. учебное пособие. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
12. ПНД Ф Т 14.1: 2:4.10-2004 (издание 2012 г.). Методика определения токсичности питьевых, природных и сточных вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов производства и потребления по изменению оптической плотности культуры водоросли Хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer). М., 2012. 42 с.
13. Чигоева Д.Н., Каманина И.З., Каплина С.П. Содержание тяжелых металлов в водотоках в районе Унальского хвостохранилища и реки Ардон // Юг России: экология, развитие. 2018. Т. 13. № 2. С. 113–122.
14. Каманина И.З., Пухаева Н.Е., Густова М.В., Фрон-тасьева М.В., Чигоева Д.Н., Каплина С.П. Использование ядерно-физических методов для анализа отходов горно-обогатительной промышленности на примере Унальского хвостохранилища // Успехи современного естествознания. 2018. № 7. С. 142–150.

## СТАТЬЯ

УДК 631.461

**МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЛУГОВО-АЛЛЮВИАЛЬНОЙ ПОЧВЫ БУХАРСКОГО ОАЗИСА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА И СТЕПЕНИ ЗАСОЛЕНИЯ****Ортиков Т.К., Артикова Х.Т., Умаров О.Р.***Бухарский государственный университет, Бухара, e-mail: Umarov\_O.R1990@inbox.ru*

Статья посвящена изучению влияния степени засоления лугово-аллювиальных почв на количество таксономических и физиологических групп микроорганизмов. При повышении содержания водорастворимых солей в лугово-аллювиальной почве ухудшаются условия для размножения микроорганизмов, что отражается на их численности. Солевой режим лугово-аллювиальных почв сильно изменяется при средней и сильной степени засоления. Поэтому при средне- и сильнозасоленной лугово-аллювиальной почве количество таксономических и физиологических групп микроорганизмов было наименьшим. На сильнозасоленных лугово-аллювиальных почвах концентрация почвенного раствора достигает наибольшего показателя, отрицательно действующего на численность микроорганизмов. Поэтому на сильнозасоленных лугово-аллювиальных почвах уменьшалось количество бактерий, грибов, актиномицетов, азотфиксаторов, аммонификаторов, нитрификаторов, нитратредуциентов и целлюлозоразлагающих бактерий. Глубина горизонтов также влияла на количество микроорганизмов. Вниз по профилю почвы численность микроорганизмов всех групп существенно снижалась и в самом глубоком горизонте почвы (50–80 см) была наименьшей. Это может быть связано с уменьшением содержания гумуса и кислорода вниз по профилю почвы. Уменьшение аэробных микроорганизмов в этом направлении было более резкое. На количество таксономических и физиологических групп микроорганизмов существенно влияет и время года. На орошаемых лугово-аллювиальных почвах летом в агроценозе хлопчатника и других культур количество микроорганизмов было больше, чем весной или осенью. Осенью засоленность почвы усиливается и достигает наихудшего состояния, поэтому при средней и сильной степени засоления осенью количество микроорганизмов было наименьшим.

**Ключевые слова:** орошаемые почвы, лугово-аллювиальные, засоление, микроорганизмы, количество**MICROBIOLOGICAL ACTIVITY OF THE MEADOW-ALLUVIAL SOIL OF THE BUKHARA OASIS, DEPENDING ON THE TYPE AND DEGREE OF SALINIZATION****Ortikov T.K., Artikova Kh.T., Umarov O.R.***Bukhara State University, Bukhara, e-mail: Umarov\_O.R1990@inbox.ru*

The article is devoted to the study of the effect of salinization of meadow-alluvial soils on the number of taxonomic and physiological groups of microorganisms. When the content of water soluble salts in the meadow-alluvial soil deteriorates the conditions for the reproduction of microorganisms, which is reflected in their numbers. The salt mode of meadow-alluvial soil changes greatly in medium and highly degrees of salinization. Therefore, the number of taxonomic and physiological groups of microorganisms was the smallest in the mean and highly salinization meadow-alluvial soils. On highly saline meadow-alluvial soils, the concentration of the soil solution reaches the greatest indicator that negatively acting on the number of microorganisms. Therefore, on highly saline meadow-alluvial soils, the number of bacteria, mushrooms, actinomycetes, nitrogen fixers, ammonifiers, nitrifiers, nitrate reductants and cellulose-decomposing bacteria. The number of microorganisms was influenced by the depth of the horizons. Down the soil profile the number of microorganisms of all groups was significantly reduced in the deepest soil horizon (50-80 cm) was the smallest. This may be due to a decrease in the content of humus and oxygen as it deepens in the soil. The decrease in aerobic microorganisms in this direction was more sharp. The number of taxonomic and physiological groups of microorganisms is significantly affected by the seasons. In irrigated meadow-alluvial soils in the summer in agro enosis of cotton and other cultures, the number of microorganisms was larger than in spring or autumn. In autumn, the soil salinity is enhanced and achieves the worst state. Therefore, in the middle and strong degrees of salinization in the fall, the number of microorganisms was the smallest.

**Keywords:** irrigated soils, meadow-alluvial, salinization, microorganisms, quantity

В формировании плодородия почвы, ее питательного режима большое значение имеет микробиологическая активность [1–3]. Потому что за счет микробиологических процессов непрерывно образуются питательные вещества для растений, почва проявляет свою буферность и поддерживает гомеостаз. Следовательно, микроорганизмы, участвуя во процессах почвы, делают ее динамичной системой, где будет возможность для жизни микроорганизмов и роста растений [4].

Вместе с тем на микроорганизмы, их активность влияют различные факторы, в том числе засоленность почвы. Повышение содержания водорастворимых солей в почве увеличивает концентрацию почвенного раствора, что отрицательно влияет на численность и активность различных таксономических и физиологических групп микроорганизмов.

Так как среди лугово-аллювиальных почв Бухарского оазиса встречаются почвы с различной степенью и типом засоления,

изучение влияния засоления на микробиологическую активность имеет большое значение [5–7]. Микробиологическая активность лугово-аллювиальных почв Бухарского оазиса изучалась некоторыми исследователями [8–10]. Эти работы показывают, как изменяется микробиологическая активность в зависимости от различных факторов. Но в этих работах мало уделено внимания действию солей на микроорганизмы.

С повышением концентрации водорастворимых солей в почве снижается микробиологическая активность почвы [5–7], что отрицательно влияет на агрохимические и агрофизические свойства почвы.

При этом нарушаются процессы гумусообразования, аммонификации и нитрификации. Кроме того, большое значение имеет тип засоления. Особенно опасными для микроорганизмов считаются содовое, хлоридное и натриевое засоления. При осланцевании почвы разрушается структура, уплотняется почва, ухудшаются воздушные и водные свойства почвы, что создает неблагоприятные условия в почве для микроорганизмов.

Поэтому, создавая благоприятные условия для различных групп микроорганизмов, можно оптимизировать процессы повышения плодородия почвы и улучшать её свойства.

Цель исследования: изучение влияния типов и степени засоления на микробиологическую активность лугово-аллювиальных почв Бухарского оазиса. При этом сравнительно оценивается микробиологическая активность незасоленных, слабо-, средне- и сильнозасоленных лугово-аллювиальных почв. Вместе с тем изучается действие химизма засоления, т.е. хлоридов, сульфатов, соды, натрия и магния на микроорганизмы.

#### **Материалы и методы исследования**

Объектом исследования послужили лугово-аллювиальные почвы Бухарского оазиса с различной степенью засоления. Для этого проводились экспедиционные исследования, где в лугово-аллювиальных почвах с различной степенью засоления делали почвенные разрезы. Для микробиологических анализов брали почвенные образцы с горизонтов 0–25; 25–50; 50–80 см. В этих почвенных образцах определяли количество бактерий, грибов, актиномицетов, аммонификаторов, нитрификаторов, нитратредуциентов, азотфиксаторов, целлюлозоразлагающих бактерий. Бактерии и аммонификаторы определялись на мясо-пептонном агаре (МПА), грибы – на среде Чапека, актиномицеты – КАА (крахмальной – амиачный), нитрификаторы – на среде Ви-

ноградского, нитратредуциенты – на среде Гильтая, азотфиксаторы – на среде Эшби, аэробные целлюлозоразлагающие бактерии – на среде Гетчинсона.

Для определения степени и типа засоления проводили химический анализ водной вытяжки почвы, где определялось содержание карбонатов, гидрокарбонатов, хлоридов, сульфатов, ионов кальция, магния, натрия и калия.

Взятие почвенных образцов, химический и микробиологический анализ проводились на основе методических руководств, таких как «Методы агрохимических, агрофизических и микробиологических исследований в поливных хлопковых районах», «Руководство по химическому анализу почв» (Е.В. Аринушкина), «Руководство к проведению химических анализов почв при мониторинге земель», «Методы микробиологических исследований и определение микроэлементов».

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

В Бухарском оазисе очень распространены лугово-аллювиальные почвы с различной степенью засоления. Большое распространение имеют слабо- и среднезасоленные лугово-аллювиальные почвы. Незасоленные и сильнозасоленные лугово-аллювиальные почвы встречаются в меньшей степени. В засолении участвуют хлориды и сульфаты. По мере увеличения степени засоления в водной вытяжке лугово-аллювиальных почв повышаются концентрации и доли катионов магния и натрия, что ухудшает ионный состав водной вытяжки. Следовательно, повышение концентрации водорастворимых солей сопровождается увеличением доли вредных и опасных ионов для микроорганизмов и растений.

Таким образом, лугово-аллювиальные почвы с разной степенью засоления различаются не только общей концентрацией водорастворимых солей, но и ионным составом этих солей. Все это влияет на численность таксономических и физиологических групп микроорганизмов, а также их активность.

Результаты микробиологических анализов почв показывают, что в незасоленных почвах количество бактерий больше, чем в засоленных лугово-аллювиальных почвах (табл. 1). Это наблюдается во всех изученных почвенных горизонтах. С увеличением степени засоления численность бактерий снижается, и самое низкое количество бактерий наблюдается в сильно засоленных лугово-аллювиальных почвах.

**Таблица 1**

Влияние степени засоления на численность таксономических групп микроорганизмов на орошаемых лугово-аллювиальных почвах

Разрез №	Горизонты почвы, см	бактерии, млн/г			грибы, тыс/г			актиномицеты, млн/г		
		Времена года			Времена года			Времена года		
		весна	лето	осень	весна	лето	осень	весна	лето	осень
Незасоленная										
1	0–25	23,5	31,5	24,8	40,17	50,6	41,5	6,2	7,4	6,5
	25–50	16,6	22,7	18,0	27,1	37,8	30,3	4,7	6,0	5,1
	50–80	7,1	10,9	6,8	6,5	12,3	14,8	2,2	3,2	2,4
Слабозасоленная										
5	0–25	20,3	24,8	20,5	35,5	42,9	34,6	4,8	6,2	4,4
	25–50	14,5	19,3	14,0	23,4	31,5	21,7	4,0	5,3	3,7
	50–80	5,3	6,2	5,5	6,0	9,7	6,6	1,8	3,6	1,6
Среднезасоленная										
10	0–25	11,4	14,7	7,5	20,3	26,8	17,7	3,1	3,8	2,8
	25–50	7,8	10,3	5,3	15,6	20,4	13,2	1,4	2,0	1,1
	50–80	2,8	4,6	2,1	3,0	5,3	2,5	0,8	1,0	0,6
Сильнозасоленная										
17	0–25	7,6	11,4	6,3	15,2	19,2	13,2	1,8	2,2	1,5
	25–50	4,2	6,1	3,4	8,3	10,7	7,0	0,8	1,1	0,6
	50–80	1,1	1,8	0,8	1,4	2,0	1,0	0,5	0,9	0,3

Снижение количества бактерий заметно происходит в средне- и сильнозасоленных почвах по сравнению с незасоленными. Уменьшение количества бактерий в слабозасоленных почвах происходит менее заметно. Уменьшение количества бактерий при засолении почвы наблюдалось весной, летом и осенью.

Но при этом количество бактерий было наибольшим летом. Это связано с деятельностью корней растений, где корневые выделения положительно действуют на развитие микроорганизмов, в том числе бактерий. Во всех типах засоления численность бактерий вниз по профилю почвы снижалась, особенно это заметно было в слое почвы 50–80 см (табл. 1). Следовательно, увеличение концентрации водорастворимых солей в почве отрицательно действует на численность бактерий. Это может быть связано с увеличением осмотического давления почвенного раствора, что создает неблагоприятные условия для бактерий. Увеличение концентрации и доли хлорид-ионов, ионов натрия и калия в почвенном растворе ещё больше усиливает отрицательное действие высоких концентраций солей.

Количество грибов тоже изменялось в зависимости от степени и типа засоления. В незасоленных лугово-аллювиальных почвах количество грибов было наибольшим.

С появлением и увеличением засоления количество грибов уменьшалось. Эта тенденция наблюдалась на протяжении всех времён года исследования – весной, летом и осенью. Вниз по профилю почвы численность грибов уменьшается. Это особенно заметно в слое почвы 50–80 см, что может быть связано с более анаэробными условиями в этом горизонте, так как грибы являются аэробными организмами и для них кислород имеет большое значение. Во всех степенях засоления количество грибов увеличивалось летом, когда в агроценозе бурно росли растения. Осенью, особенно в средне- и сильнозасоленных лугово-аллювиальных почвах, количество грибов было наименьшим (табл. 1). Это может быть связано с увеличением концентрации водорастворимых солей в почве осенью. Следовательно, увеличение концентрации водорастворимых солей способствует снижению численности грибов в лугово-аллювиальных почвах.

Ещё одним представителем таксономических групп являются актиномицеты. Количество актиномицетов тоже зависело от степени засоления лугово-аллювиальных почв. В незасоленных лугово-аллювиальных почвах количество актиномицетов было наибольшим. С появлением засоления и повышением степени засоления численность актиномицетов уменьшалась.

Поэтому в средне- и сильнозасоленных лугово-аллювиальных почвах количество актиномицетов было наименьшим. Летом количество актиномицетов было наибольшим (табл. 1). Эта тенденция наблюдалась во всех степенях засоления лугово-аллювиальных почв. Следовательно, в ризосфере и ризопланах культурных растений, в том числе хлопчатника, создаются лучшие условия для актиномицетов. Количество актиномицетов во всех степенях засоления уменьшалось вниз по профилю почвы, и в горизонте 50–80 см было наименьшим.

В микробиологических процессах большое значение имеют физиологические группы микроорганизмов, которые поддерживают в почве микробиологические процессы и тем самым обеспечивают жизнь почвы. Аммонификаторы участвуют в процессах аммонификации, т.е. в образовании аммония из органических веществ. Аммонификаторы и бактерии определялись в одной среде, т.е. на МПА.

Количество нитрификаторов сильно изменялось в зависимости от концентрации водорастворимых солей. Следовательно, засоление, особенно его высокая степень, сильно влияет на количество нитрифицирующих бактерий. Во всех степенях засо-

ления вниз по профилю почвы количество нитрификаторов сильно уменьшалось. Это связано с увеличением анаэробнозона в нижних горизонтах почвы. Так как нитрификаторы являются аэробными микроорганизмами, с увеличением степени засоления уменьшалось количество нитрификаторов, а в сильнозасоленной лугово-аллювиальной почве было наименьшим. Численность нитрификаторов изменялась в зависимости от времени года. Самая высокая их численность наблюдалась летом, в период бурного развития агроценоза растений (табл. 2). Следовательно, засоление существенно влияет на количество нитрификаторов и тем самым на образование нитратов в почве.

Бактерии, растущие на нитратном азоте, имеют большое значение для почвы, так как они регулируют содержание нитратов в почве. Однако это имеет отрицательное значение для эффективности азотных удобрений и питания растений. Засоление почвы отрицательно действовало на количество нитратредуциентов. С увеличением степени засоления численность нитратредуциентов снижалась и наименьшее количество их наблюдалось в сильнозасоленных почвах. Это было отмечено во все времена года – весной, летом, осенью (табл. 2).

Таблица 2

Влияние степени засоления на численность физиологических групп микроорганизмов на орошаемых лугово-аллювиальных почвах

Разрез №	Горизонты почвы, см	нитратредуциенты, млн/г			нитрификаторы, тыс/г			азотфиксаторы, млн/г			Целлюлозаразлагающие микроорганизмы, тыс/г		
		Времена года			Времена года			Времена года			Времена года		
		весна	лето	осень	весна	лето	осень	весна	лето	осень	весна	лето	осень
Незасоленная													
1	0–25	22,6	26,0	20,5	63	72	65	28,8	32,5	26,5	615	728	635
	25–50	15,8	17,8	15,1	38	45	41	18,6	21,8	19,2	527	615	550
	50–80	8,6	10,1	8,4	2	13	10	6,2	7,6	6,5	115	185	125
Слабозасоленная													
5	0–25	20,1	24,5	8,5	55	61	57	22,7	25,7	20,3	525	610	530
	25–50	12,8	15,3	12,0	30	36	30	15,6	18,9	13,7	386	420	380
	50–80	6,3	8,4	6,0	6	10	7	4,8	5,2	3,9	78	85	75
Среднезасоленная													
10	0–25	9,5	12,1	8,1	32	38	28	10,2	12,1	8,8	280	310	250
	25–50	7,0	9,3	6,3	20	25	17	7,3	7,8	6,2	175	200	150
	50–80	3,2	4,8	2,7	3	6	2	2,4	3,3	2,1	53	61	45
Сильнозасоленная													
17	0–25	6,0	7,5	4,8	21	27	18	6,5	7,2	5,6	145	186	120
	25–50	3,7	5,4	2,9	12	16	9	4,0	4,8	2,8	87	101	65
	50–80	2,0	3,7	1,2	1	3	0,8	1,5	1,9	0,8	25	35	20

При всех степенях засоления наибольшее количество нитратредуциентов наблюдалось летом. Это может быть связано с бурным ростом растений и повышенными корневыми выделениями этих культур. Вниз по профилю почвы количество нитратредуциентов уменьшалось, и в слое 50–80 см наблюдалось наименьшее их количество. Следовательно, содержание водорастворимых солей существенно влияет на численность нитратредуциентов в лугово-аллювиальных почвах.

В плодородии почвы большое значение имеют азотфиксаторы. Свободноживущие аэробные азотфиксаторы, растущие на среде Эшби, существенно реагировали на содержание водорастворимых солей в почве. С увеличением концентрации солей количество азотфиксаторов уменьшается, и в сильнозасоленных почвах оно наименьшее. Следовательно, высокая концентрация водорастворимых солей отрицательно влияет на численность азотфиксаторов (табл. 2). Это наблюдается во все времена года. Однако самое большое количество азотфиксаторов наблюдается летом, когда растения достигают высокого роста и развития. Вниз по профилю почвы количество азотфиксаторов уменьшается, и в слое 50–80 см достигает наименьшего количества.

Аэробные целлюлозоразлагающие бактерии имеют большое значение в формировании плодородия почвы. Количество целлюлозоразлагающих бактерий зависело от степени засоления лугово-аллювиальных почв. С увеличением концентрации водорастворимых солей количество целлюлозоразлагающих бактерий снижалось.

Самое низкое количество целлюлозоразлагающих бактерий наблюдалось в сильнозасоленной лугово-аллювиальной почве. Самое высокое их количество было летом (табл. 2). Это наблюдалось во всех степенях засоления. Вниз по профилю почвы количество целлюлозоразлагающих бактерий уменьшалось. Это может быть связано с уменьшением в этом направлении содержания гумуса, растительных корневых остатков и кислорода.

### Заключение

Таким образом, засоление лугово-аллювиальных почв Бухарского оазиса отрицательно действует на численность таксономических и физиологических групп микроорганизмов. При этом с увеличением степени засоления уменьшается количество микроорганизмов. Самое низкое количе-

ство микроорганизмов наблюдается в слое 50–80 см. Увеличение доли хлоридов, катионов натрия и магния усиливает отрицательное действие водорастворимых солей. Особенно в средне- и сильнозасоленных почвах количество микроорганизмов осенью сильно уменьшается по сравнению с другими временами года, что связано с увеличением засоления в это время года в этих почвах. Во всех степенях засоления самое высокое количество микроорганизмов наблюдается летом, когда растения достигают наилучшей продуктивности, что показывает наличие симбиоза между микроорганизмами и растениями. Для улучшения микробиологической активности лугово-аллювиальных почв Бухарского оазиса надо будет снижать концентрацию солей до нормального содержания путем промывки и химической мелиорации.

### Список литературы

1. Коржов С.И., Маслов В.А., Орехова Е.С. Изменение микробиологической активности почвы при различных способах ее обработки // *АгроXXI*. 2009. С. 1–3.
2. Фаизова В.И. Изменение свойств и микробиологических показателей черноземов Центрального Предкавказья при сельскохозяйственном использовании: дис. ... докт. сельхоз. наук. Ставрополь, 2016. 478 с.
3. Лицуков С.Д., Титовская А.И., Акинчин А.В., Селидин А.Н. Микробиологическая активность почвы при различных системах земледелия // *Вестник Курской государственной академии*. № 8. 2013. С. 57–60.
4. Артыкова Х.Т., Ортиков Т.К., Умаров О.Р., Бафаява З.Х. Содержание и запасы гумуса почв Бухарского оазиса // *Просвещение и инновационные исследования*. Бухара, 2020. № 2. С. 118–129.
5. Савич В.И., Мосина Л.В., Норовсурэн Ж., Сидоренко О.Д., Аникина Д.С. Микробиологическая активность почв как фактор почвообразования // *Международный сельскохозяйственный журнал*. М., 2019. № 1 (367). С. 38–42.
6. Ходжимуродова Н., Хакимова Н., Тагаева М. Биологическая активность почв Бухарского оазиса в зависимости от степени засоленности // *Интеграция науки, образования и производства при стабильном развитии аграрной области: сборник материалов онлайн научно-практической конференции*. Ташкент, 2020. С. 1061–1064.
7. Ходжимуродова Н.Р., Хакимова Н.Х., Тагаева М.В., Камиллов Б.С. Биологическая активность орошаемых лугово-аллювиальных почв в зависимости от степени засоленности // *Научное обозрение. Биологические науки*. 2021. № 1. С. 27–31.
8. Ходжимуродова Н.Р., Хожиев С.С. Некоторые особенности и микробиологическая активность лугово-аллювиальных почв Бухарского оазиса // *Вестник Хорезмской академии Маъмуна*. Хива, 2020. № 1. С. 90–93.
9. Шарипов О.Б. Биологическая активность орошаемых почв Бухарского оазиса и пути их оптимизации (на примере Бухарского тумана): автореф. дис. доктора философии (PhD) по биологическим наукам. Бухара, 2019. 45 с.
10. Sharipov O.B., Gafurova L.A. Biological activity of irrigated grassland alluvial soils of the Bukhara oasis. *European science review*. Prague, 2018. № 3–4. P. 76–79.

## СТАТЬЯ

УДК 61:004

**КРИВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КАТЕГОРИЙ В МОДЕЛИ РАША И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА КАЧЕСТВА ЖИЗНИ В МЕДИЦИНЕ**<sup>1</sup>Муслов С.А., <sup>2</sup>Маслак А.А., <sup>1</sup>Арутюнов С.Д., <sup>1</sup>Грачев Д.И., <sup>1</sup>Чижмаков Е.А.<sup>1</sup>ГБОУ ВПО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова», Москва, e-mail: muslov@mail.ru;<sup>2</sup>ФБГОУ ВПО «Кубанский государственный университет», филиал, Славянск-на-Кубани

Важной характеристикой индикаторных переменных в метрической модели измерений Раша является распределение их категорий. В данной работе выведены уравнения кривых распределения категорий для полиномической переменной (0, 1, 2, 3, 4) в модели Раша. Такое число градаций весьма часто применяется в тестологии и соответствует ответам респондентов «никогда», «очень редко», «иногда», «часто», «очень часто» при исследовании, например, качества жизни пациентов в медицине до и после лечения. Полученные кривые позволяют судить о наиболее вероятных ответах на пункты опросника и валидности используемого теста. Рассчитаны величина порогов категорий индикаторов при опросе пациентов о качестве их жизни после стоматологического ортопедического лечения посредством съемных пластиночных конструкций зубных протезов. Рассмотрены возможные варианты, когда пороговые значения ранжированы таким образом, что  $\tau_m > \tau_{m-1} > \dots > \tau_2 > \tau_1$  и когда не упорядочены по величине. Обсуждается интерпретация латентных переменных в медицине. Предложено латентную переменную  $\delta$  определять влиянием определенных негативных патогенных факторов, а переменную  $\beta$  – адапционно-компенсаторными возможностями организма и эффективностью лечения.

**Ключевые слова:** кривые распределения категорий, модель Раша, латентные переменные

**ITEM CHARACTERISTIC CURVES IN THE RASCH MODEL AND THEIR APPLICATION FOR THE ANALYSIS OF THE QUALITY OF LIFE IN MEDICINE**<sup>1</sup>Muslov S.A., <sup>2</sup>Maslak A.A., <sup>1</sup>Arutyunov S.D., <sup>1</sup>Grachev D.I., <sup>1</sup>Chizhnikov E.A.<sup>1</sup>Evdokimov Moscow State Medical Stomatological University, Moscow, e-mail: muslov@mail.ru;<sup>2</sup>Kuban State University, branch, Slavyansk-on-Kuban

An important characteristic of indicator variables in the metric Rasch measurement model is the distribution of their categories. The equations of the distribution curves of categories for a polytomous variable (0, 1, 2, 3, 4) in the Rasch model are obtained. This number of gradations it is very often used in testology and corresponds to the respondents answers «never», «very rarely», «sometimes», «often», «very often» when studying, for example, the quality of life of patients in medicine before and after treatment. The obtained curves allowed us to judge the most likely answers to the questionnaire items and the validity of the test used. The thresholds of the indicator categories were calculated when interviewing patients about the quality of their life after dental orthopedic prosthetics. Possible variants when the threshold values are ordered in such a way that  $\tau_m > \tau_{m-1} > \dots > \tau_2 > \tau_1$  and when they are not ordered are considered. The interpretation of latent variables in medicine is discussed. It is proposed to determine the latent variable  $\delta$  by the influence of negative pathogenic factors, and the variable  $\beta$  – by the adaptive and compensatory capabilities of the body and the effectiveness of therapeutic or other treatment.

**Keywords:** item characteristic curve (ICC), Rasch model (RM), latent variables

На оценку качества жизни (КЖ) в медицине оказывает влияние множество факторов, например важен возраст, который скажется на психологических особенностях пациентов пожилого и старческого возраста [1, 2]. Сегодня в исследованиях КЖ рассматривают две теории тестирования: классическую и современную, при этом доля в применении последней постепенно возрастает. Классическая теория тестирования (КТТ) по ряду причин не дает объективных данных об объекте исследования [3], тогда как правильная процедура лечения больных требует знания точной картины их физического и психологического здоровья. В середине XX в. была решена задача преобразования формальных наблюдений за исходом случайных событий в измерения, то есть

непрерывные переменные со значениями на едином линейном континууме. Достижения стали возможными благодаря современной теории тестирования (англ. Item Response Theory – IRT), являющейся частью более общей теории латентно-структурного анализа. В теории IRT применяют различные метрические модели. Одними из самых распространенных являются семейство моделей Раша, которые соответствуют практически всем требованиям, предъявляемым к качественному измерительному инструментарию [4, 5].

**Материалы и методы исследования**

Расчеты производили в системе компьютерной алгебры Mathcad 15.0 и диалоговой системе ИЛП (Измерение латентных

переменных), альтернативной зарубежным аналогам RUMM и Winsteps. Опрос пациентов (N = 50, возраст 42–87 лет, 17 женщин и 33 мужчины) с полной утратой зубов после стоматологического ортопедического лечения посредством съемных пластиночных конструкций зубных протезов производили с помощью специального опросника КЖ ОНП-20 DG [6]. Ответ на каждый вопрос был квантифицирован от 0 до 4 баллов. Анкета заполнялась последовательно с 1 по 20 вопрос. На каждый вопрос мог быть дан только один ответ.

**Результаты исследования и их обсуждение**

Вероятность достижения случайной полиномической величины  $x_{ni}$  значения  $x$  в однопараметрической модели Раша выражается формулой [7]

$$P(x_{ni} = x) = \frac{e^{-\tau_{i1} - \tau_{i2} - \dots - \tau_{ix} + x(\beta_n - \delta_i)}}{\sum_{x=0}^{m_i} e^{-\tau_{i1} - \tau_{i2} - \dots - \tau_{ix} + x(\beta_n - \delta_i)}}, \quad (1)$$

где латентные переменные обозначены символами  $\beta_n$  и  $\delta_i$ ,  $\beta_n$  – месторасположение n-го объекта на шкале латентной переменной,  $\delta_i$  – месторасположение i-й индикаторной переменной соответственно. В педагогике и психологии традиционно – это уровень подготовленности испытуемых и трудность заданий теста, в медицине этот вопрос окончательно не решен и находится в стадии обсуждения [8],  $m_i$  – число категорий i-го индикатора,  $\tau_{xi}$  – пороги индикаторных переменных. (Здесь и в дальнейшем используется терминология, принятая в современной теории тестирования. Под индикаторами понимаются пункты опросника, пациенты служат объектами.)

Как известно, о величине латентных параметров можно судить по ее индикаторным переменным. При этом точность измерения латентной переменной зависит от числа индикаторных переменных и их градаций. Показано, что повысить точность измерения

можно не только за счет увеличения числа индикаторных переменных, но и за счет увеличения числа их градаций [9].

Общая формула (1) в дихотомическом случае ( $x_{ni} = 0, 1$ ) дает известные выражения:

$$P(x_{ni} = 1) = \frac{e^{\beta_n - \delta_i}}{1 + e^{\beta_n - \delta_i}},$$

$$P(x_{ni} = 0) = \frac{1}{1 + e^{\beta_n - \delta_i}}. \quad (2)$$

Их можно записать в виде

$$P(x_{ni} = 0) = \frac{e^{0(\beta_n - \delta_i)}}{e^{0(\beta_n - \delta_i)} + e^{1(\beta_n - \delta_i)}},$$

$$P(x_{ni} = 1) = \frac{e^{1(\beta_n - \delta_i)}}{e^{0(\beta_n - \delta_i)} + e^{1(\beta_n - \delta_i)}}, \quad (2б)$$

поскольку  $e^0 = 1$ , а  $1(\beta_n - \delta_i) = \beta_n - \delta_i$ . Соответственные кривые распределения категорий (в англоязычной литературе – Item Characteristic Curve, ICC) для дихотомической переменной имеют вид, представленный на рис. 1.

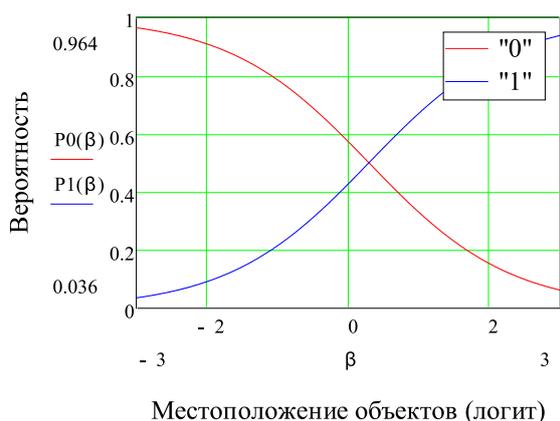


Рис. 1. Кривые распределения категорий для дихотомической переменной (0, 1).  $\Delta = 0.3$

В случае полиномической переменной ( $x_{ni} = 0, 1, 2$ ) формула (1) трансформируется в следующие равенства:

$$P(x_{ni} = 0) = \frac{e^{0(\beta_n - \delta_i)}}{e^{0(\beta_n - \delta_i)} + e^{-\tau_{i1} + 1(\beta_n - \delta_i)} + e^{-\tau_{i1} - \tau_{i2} + 2(\beta_n - \delta_i)}}$$

$$P(x_{ni} = 1) = \frac{e^{-\tau_{i1} + 1(\beta_n - \delta_i)}}{e^{0(\beta_n - \delta_i)} + e^{-\tau_{i1} + 1(\beta_n - \delta_i)} + e^{-\tau_{i1} - \tau_{i2} + 2(\beta_n - \delta_i)}}$$

$$P(x_{ni} = 2) = \frac{e^{-\tau_{i1} - \tau_{i2} + 2(\beta_n - \delta_i)}}{e^{0(\beta_n - \delta_i)} + e^{-\tau_{i1} + 1(\beta_n - \delta_i)} + e^{-\tau_{i1} - \tau_{i2} + 2(\beta_n - \delta_i)}}, \quad (3)$$

где выражения для i-го индикатора содержат два порога  $\tau_{1i}$  и  $\tau_{2i}$  – параметры модели, точки на шкале латентной переменной, в которых вероятность выбора соседних категорий совпадает.

Отметим, что если переменная  $x_{ni}$  равна 0 и, следовательно, порог не был превышен, то в числителе порог не отображается, а коэффициент или множитель при  $(\beta_n - \delta_i)$  равен 0. Если  $x_{ni}$  равна 1 и, следовательно, был превышен только первый порог, а остальные нет, то в числителе отображается первый порог, а множитель при  $(\beta_n - \delta_i)$  равен 1. Если значение  $x_{ni}$  равно 2 и, следовательно, были превышены как первый, так

и второй пороговые значения, то оба порога отображаются в числителе, а коэффициент или множитель перед  $(\beta_n - \delta_i)$  равны 2. Как и в дихотомическом случае, сумма всех числителей равна знаменателю.

Кривые распределения категорий для политомической переменной (0, 1, 2) представлены на рис. 2.

Для переменной ( $x_{ni} = 0, 1, 2, 3, 4$ ) уравнение (1) преобразуется к виду

$$\begin{aligned}
 P(x_{ni} = 0) &= \frac{e^{0(\beta_n - \delta_i)}}{e^{0(\beta_n - \delta_i)} + e^{-\tau_{i1} + 1(\beta_n - \delta_i)} + e^{-\tau_{i1} - \tau_{i2} + 2(\beta_n - \delta_i)} + e^{-\tau_{i1} - \tau_{i2} - \tau_{i3} + 3(\beta_n - \delta_i)} + e^{-\tau_{i1} - \tau_{i2} - \tau_{i3} - \tau_{i4} + 4(\beta_n - \delta_i)}} \\
 P(x_{ni} = 1) &= \frac{e^{-\tau_{i1} + 1(\beta_n - \delta_i)}}{e^{0(\beta_n - \delta_i)} + e^{-\tau_{i1} + 1(\beta_n - \delta_i)} + e^{-\tau_{i1} - \tau_{i2} + 2(\beta_n - \delta_i)} + e^{-\tau_{i1} - \tau_{i2} - \tau_{i3} + 3(\beta_n - \delta_i)} + e^{-\tau_{i1} - \tau_{i2} - \tau_{i3} - \tau_{i4} + 4(\beta_n - \delta_i)}} \\
 P(x_{ni} = 2) &= \frac{e^{-\tau_{i1} - \tau_{i2} + 2(\beta_n - \delta_i)}}{e^{0(\beta_n - \delta_i)} + e^{-\tau_{i1} + 1(\beta_n - \delta_i)} + e^{-\tau_{i1} - \tau_{i2} + 2(\beta_n - \delta_i)} + e^{-\tau_{i1} - \tau_{i2} - \tau_{i3} + 3(\beta_n - \delta_i)} + e^{-\tau_{i1} - \tau_{i2} - \tau_{i3} - \tau_{i4} + 4(\beta_n - \delta_i)}} \\
 P(x_{ni} = 3) &= \frac{e^{-\tau_{i1} - \tau_{i2} - \tau_{i3} + 3(\beta_n - \delta_i)}}{e^{0(\beta_n - \delta_i)} + e^{-\tau_{i1} + 1(\beta_n - \delta_i)} + e^{-\tau_{i1} - \tau_{i2} + 2(\beta_n - \delta_i)} + e^{-\tau_{i1} - \tau_{i2} - \tau_{i3} + 3(\beta_n - \delta_i)} + e^{-\tau_{i1} - \tau_{i2} - \tau_{i3} - \tau_{i4} + 4(\beta_n - \delta_i)}} \\
 P(x_{ni} = 4) &= \frac{e^{-\tau_{i1} - \tau_{i2} - \tau_{i3} - \tau_{i4} + 4(\beta_n - \delta_i)}}{e^{0(\beta_n - \delta_i)} + e^{-\tau_{i1} + 1(\beta_n - \delta_i)} + e^{-\tau_{i1} - \tau_{i2} + 2(\beta_n - \delta_i)} + e^{-\tau_{i1} - \tau_{i2} - \tau_{i3} + 3(\beta_n - \delta_i)} + e^{-\tau_{i1} - \tau_{i2} - \tau_{i3} - \tau_{i4} + 4(\beta_n - \delta_i)}} \cdot (4)
 \end{aligned}$$

При этом  $P(x_{ni} = 0) + P(x_{ni} = 1) + P(x_{ni} = 2) + P(x_{ni} = 3) + P(x_{ni} = 4) = 1$ , а кривые распределения категорий отображены на рис. 3. Представленные данные получены при исследовании качества жизни (КЖ) пациентов после стоматологического ортопедического протезирования в клиниках МГМСУ им. А.И. Евдокимова. Применялся специальный опросник КЖ ОНПР-20 DG для мобильных устройств. Как известно, приверженность пациентов к вводу данных в электронном виде часто выше, чем к заполнению бумажных форм [10]. Кроме того, электронные опросники предоставляют дополнительное преимущество в виде быстрого доступа и анализа данных, безошибочному вводу ответов и т.д. [11].

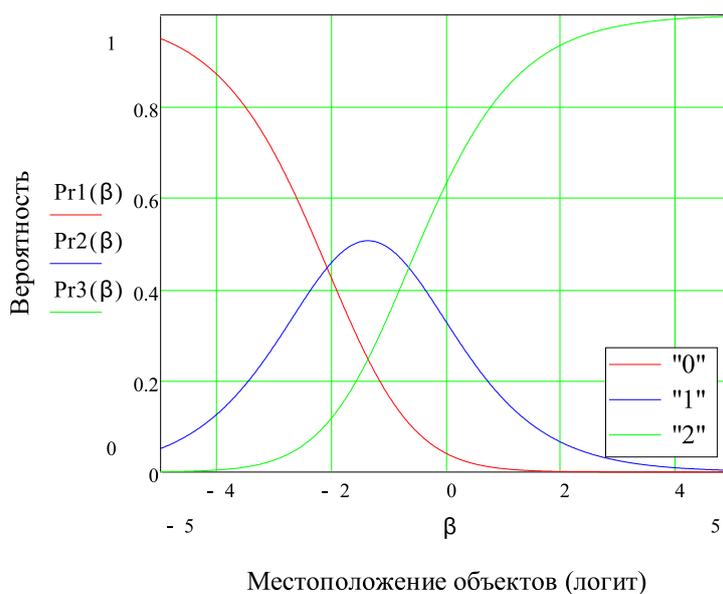


Рис. 2. Кривые распределения категорий для политомической переменной (0, 1, 2).  
 $\delta = 0.3$ ,  $\tau_1 = -2.08$ ,  $\tau_2 = -0.65$

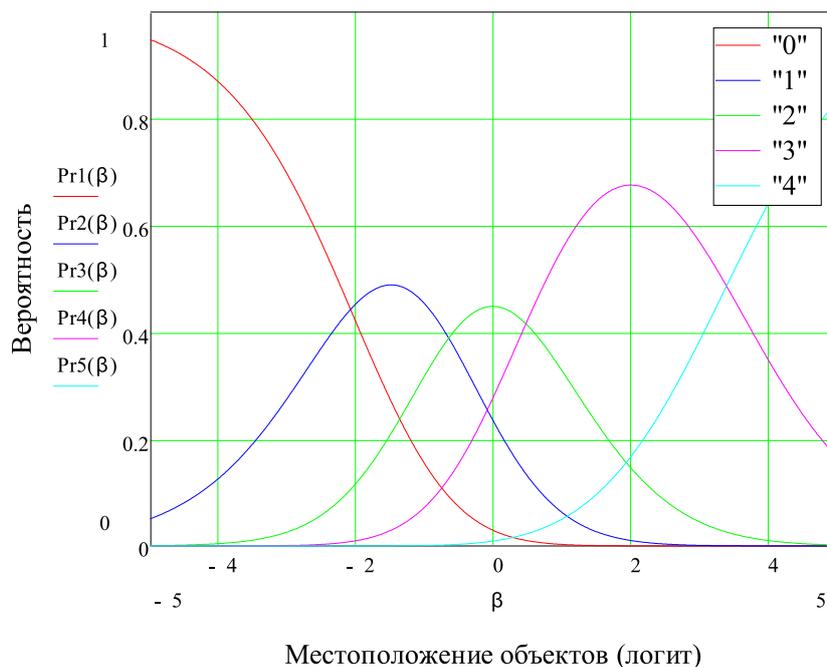


Рис. 3. Кривые распределения категорий для полиномической переменной (0, 1, 2, 3, 4).  $\delta = 0.29, \tau_1 = -2.08, \tau_2 = -0.65, \tau_3 = 0.48, \tau_4 = 3.41$ . Индикатор 1. Mathcad 15.0

Здесь, так же как и на рис. 1 и 2, отображены теоретические на основе модели измерения кривые каждой категории выбранного индикатора. По оси ординат отложена вероятность события, по оси абсцисс – уровень латентной переменной в логитах. В нашем случае индикаторы описываются пятью категориями: 0, 1, 2, 3 и 4. При анкетировании пациентами обычно используется именно такое число категорий. Как правило, оно соответствует вариантам ответов «никогда», «очень редко», «иногда», «часто», «очень часто». Пороги отделяют категории индикатора друг от друга. Как отмечалось выше, это точка на шкале латентной переменной, в которой вероятность выбора соседних категорий совпадает. Например, порог 1 равен  $-2.082$ , в этой точке пересекаются кривые категорий 0 и 1, порог 2 равен  $-0.65$ , в этой точке пересекаются кривые категорий 1 и 2 и т.д. На данном рисунке видно, как, на каком интервале шкалы латентной переменной «работает» каждая категория. Например, нулевая категория описывает вероятность того, что пациенты с уровнем латентной переменной  $\beta$  постоянно «испытывают трудности при приеме пищи в связи с проблемами, связанными с полостью рта» и при  $\beta < -2.082$  эта категория ответов опросника наиболее вероятна. В интервале  $-2.082 < \beta < -0.65$  вероятнее всего категория 1, соответствующая ответу

пациентов очень часто «испытывают трудности при приеме пищи в связи с проблемами, связанными с полостью рта» и т.д. (таблица). Таким образом, наименьшие значения латентной переменной  $\beta$  (в логитах) соответствуют высокой эвентуальности ответов опросника в категории 0 баллов, что на основании матрицы ответов респондентов означает низкий уровень качества жизни и, наоборот, большие значения переменной  $\beta$  отвечают высокой вероятности категории в 4 балла и, соответственно, отменному на основании матрицы данных качеству жизни пациента, что согласуется с логическим основанием модели Раша. Величина порогов рассчитывалась с помощью диалоговой системы ИЛП (измерение латентных переменных) [12].

Из рисунка следует, что для индикатора 1, взятого для примера (рис. 3), все категории использовались исследователями для оценки КЖ. Все категории имеют свой интервал измерения, где они «работают». «Неработоспособных» категорий индикатора нет. Однако для индикатора 2 не все пороги расположены в порядке возрастания (рис. 4). В частности, нет области континуума, в которой оценка 3 является наиболее вероятной. То есть в области ответов на вопросы опросника, где ожидаемый (средний) балл равен 3, пациенты с большей вероятностью дадут балл из другой категории.

Пороги категорий индикаторов

	Оценка ( $\delta$ )	Порог 1	Порог 2	Порог 3	Порог 4
Индикатор 1*	0.287856	-2.08223	-0.64993	0.477723	3.405866
Индикатор 2**	-0.35616	-3.11551	-0.26205	<b>1.201407</b>	<b>0.751507</b>
...	—	—	—	—	—
Индикатор 19***	-0.22742	-1.98322	-0.41741	<b>1.627469</b>	<b>-0.13654</b>
Индикатор 20****	-0.33945	-2.95362	-0.38009	<b>1.243554</b>	<b>0.732348</b>

\* Как часто Вы испытываете трудности при приеме пищи в связи с проблемами, связанными с полостью рта?

\*\* Как часто при приеме пищи последняя застревает между естественными или искусственными зубами (протезами)?

\*\*\* Испытываете ли Вы невозможность получать удовольствие от общения с друзьями в связи с проблемами полости рта?

\*\*\*\* Испытываете ли Вы неудовлетворенность жизнью в целом из-за проблем полости рта?

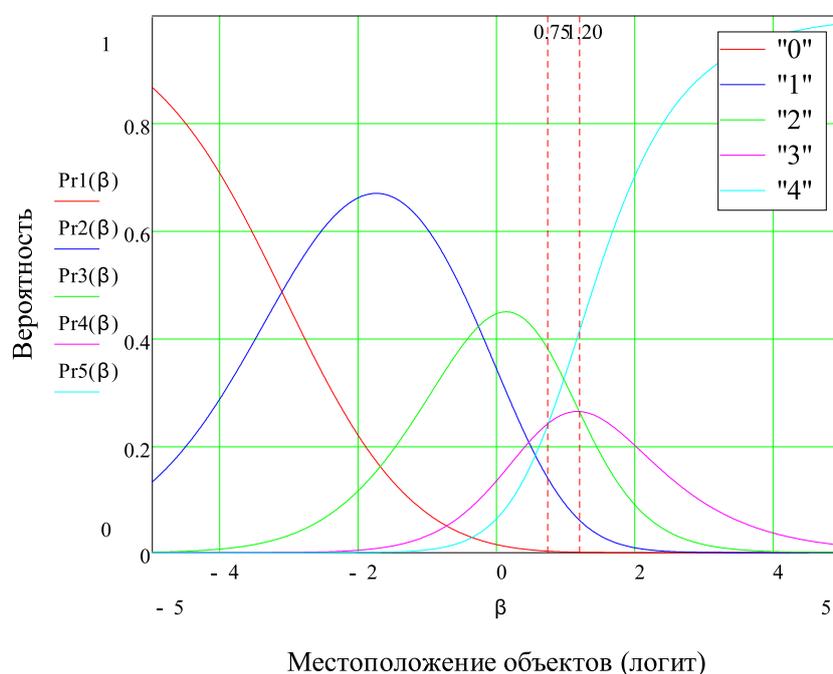


Рис. 4. Кривые распределения категорий для полиномической переменной (0, 1, 2, 3, 4).  $\delta = -0.35$ ,  $\tau_1 = -3.11$ ,  $\tau_2 = -0.26$ ,  $\tau_3 = 1.20$ ,  $\tau_4 = 0.75$ . Индикатор 2. Mathcad 15.0

То есть по мере увеличения интегрального показателя качества жизни вероятность получения более высокого балла по данному индикатору монотонно не увеличивается, а балл 3 никогда не бывает наиболее вероятным. Это означает, что данный пункт опросника следует изучить, чтобы понять, почему категория работает не так, как ожидалось на основании модели Раша. Это может быть связано с недостаточным объемом выборки, потому что  $P(\chi^2)$  для 2-го индикатора 0.732, а это говорит о том, что элемент соответствует модели. При этом ха-

рактеристическая кривая индикатора 2 по отношению к групповым средним имеет приемлемый вид (рис. 5). Аналогичные ситуации наблюдались для индикаторов 19 и 20, у которых  $\tau_3 > \tau_4$ , но  $P(\chi^2)$  0.264 и 0.665 соответственно.

Таким образом, разработанный диагностический тест имеет весьма высокие показатели валидности по отношению к модели Раша и позволяет объективно оценивать КЖ при стоматологическом ортопедическом протезировании, но, возможно, требует доработки трех индикаторов или увеличения числа тестируемых.

Номер: 2 Индикатор: 2 Оценка: -0,356 Хи-кв.: 2,020 P(Хи-кв.): 0,732  
N=50

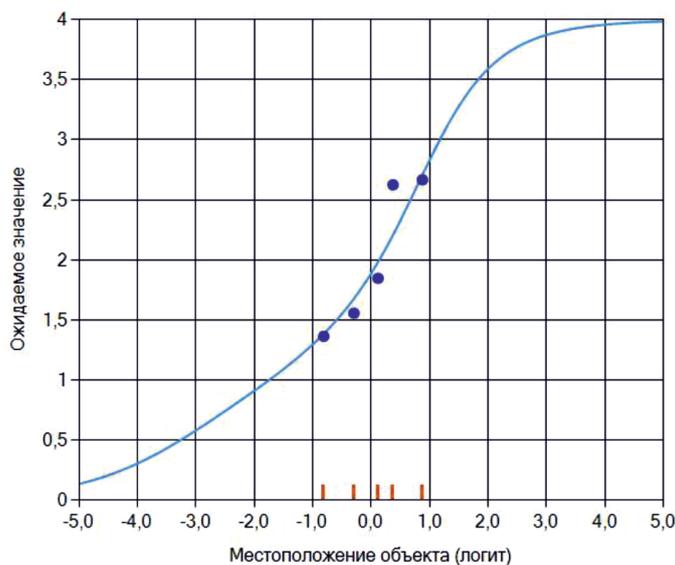


Рис. 5. Характеристическая кривая 2-го индикатора (вопроса). Вверху диаграммы содержится информация по выбранному индикатору. Отрезками на шкале логитов отображены средние уровни латентной переменной групп объектов. Точками – средние фактических данных по указанным группам объектов. Диалоговая система ИЛП

Последнее подтверждается следующим исследованием. На рис. 6 в верхней части диаграммы показано расположение объектов, в нижней – индикаторных переменных. Высота столбцов соответствует числу объектов или индикаторных переменных с заданным местоположением на шкале латентной переменной. На левой оси ординат отображено число объектов или индикаторных переменных, на правой – их проценты в выборке. Взаимодействие множеств латентных переменных на единой шкале логит задает вероятность «успеха» в модели Раша по шкалам теста и в итоге отражает субъективное восприятие качества жизни – «степень комфортности человека внутри себя и в рамках общества, в котором он живет» [13].

Отметим, что согласно рис. 6 основное число обследованных выпадает на диапазон от -1 до +1 логит, при этом порог  $\tau_3$  2-го индикатора равен 1,20, что наводит на мысль о возможном недостатке данных в этой области. Похожая ситуация сложилась и с «проблемными» индикаторами 19 и 20 (порог  $\tau_3$  1,62 и 1,24 соответственно). Анализ «сырых» (необработанных) частот ответов каждой категории по каждому объекту показал частоты для индикаторов: 7, 5 и 7 пациентов (3 балла) соответственно, что меньше всего среди всех индикаторов.

Очевидно, что действительно имело место крайне небольшое число прецедентов в этих категориях и в такой ситуации на самом деле можно не получить статистически значимой информации по «реверсным» пороговым значениям. Отметим, что у индикаторов 2, 19 и 20 также самое высокое значение порога  $\tau_3$  из всех индикаторов.

В заключение остановимся на интерпретации латентных переменных  $\beta$  и  $\delta$  при исследовании качества жизни, связанного со здоровьем, т.е. в медицине.

На наш взгляд, их нужно рассматривать с позиций теории Курта Левина [14] силового взаимодействия, согласно которой успех в преодолении препятствия определяется ослаблением действия, либо вследствие усиления противодействия (рис. 7). При этом латентную переменную, мы считаем,  $\delta$  обуславливает влияние определенных негативных патогенных факторов, а переменная  $\beta$  контролируется адапционно-компенсаторными возможностями организма (до лечения) плюс эффективностью терапевтического или иного лечебного воздействия (в результате лечения). Такое толкование латентных параметров хорошо согласуется с концепцией [15], согласно которой «качество жизни – функциональное влияние состояния здоровья и/или последующей терапии на пациента».

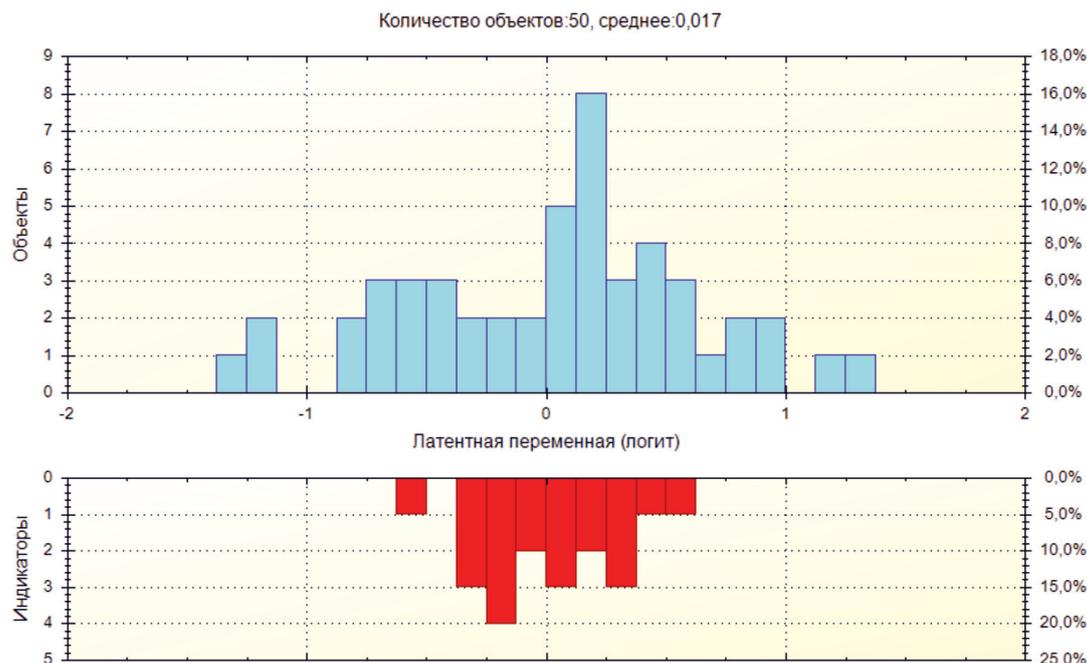


Рис. 6. Местоположение латентных переменных  $\beta$  (объекты) и  $\delta$  (индикаторы) на единой шкале логит. Данные опроса  $N = 50$  пациентов после протезирования. Среднее значение объектов 0,017, индикаторов – 0. Диалоговая система ИЛП

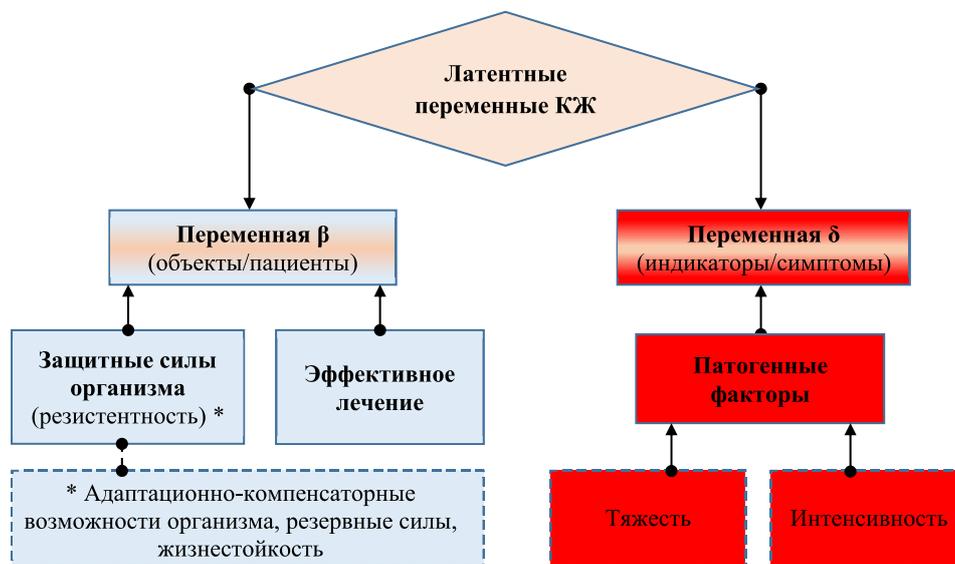


Рис. 7. Блок-схема. Возможная интерпретация латентных переменных в медицине

### Заключение

1. Получены уравнения кривых распределения категорий (ICC) в полиномической ( $x_{mi} = 0, 1, 2, 3, 4$ ) модели Раша.

2. С помощью диалоговой системы ИЛП рассчитаны пороги значения индикаторных переменных результатов опроса пациентов

о качестве жизни после стоматологического ортопедического протезирования и сделан вывод о валидности опросника.

3. Нарушения в порядке следования порогов могут быть обусловлены недостатком данных мониторинга КЖ в области соответствующих пороговых значений латентной переменной  $\beta$ .

4. Предложена интерпретация латентных переменных в медицине при анализе качества жизни больных.

#### Список литературы

1. Арутюнов С.Д., Соловых Е.А., Молчанов К.А. Психологические особенности пациентов пожилого и старческого возраста и их проявления при оказании им стоматологической помощи // Российский стоматологический журнал. 2008. № 2. С. 46–50.
2. Халина Н.В., Поздняков С.А. Разработка опросника для измерения факторов значимости пожилого как другого для молодого поколения // Историческая и социально-образовательная мысль. 2015. Т. 7. № 7, ч. 1. С. 85–100.
3. Карданова Е.Ю. Преимущества современной теории тестирования по сравнению с классической теорией тестирования // Вопросы тестирования в образовании. 2004. № 10. С. 94–106.
4. Летова Л.В. Модель Раша как инструмент для объективного измерения уровня учебных достижений по математике // Инновации в образовании. 2014. № 2. С. 139–148.
5. Баркалов С.А., Моисеев С.И., Требунцева Л.В. Модель интегральной оценки AQLQ, основанная на латентных переменных // Проектное управление в строительстве. 2019. № 4 (17). С. 91–96.
6. Программа для ЭВМ: ОНIP-20-DG. Номер регистрации (свидетельства): RU 2021613358. Дата регистрации: 05.03.2021. Номер и дата поступления заявки: 2021612179 19.02.2021. Дата публикации: 05.03.2021. Авторы: Арутюнов С.Д., Муслов С.А., Грачев Д.И., Перцов С.С., Мартыненко А.В., Стерликов П.Ф., Чижмаков Е.А., Багдасарян Г.Г., Арутюнов А.С., Мальгинов Н.Н.
7. David Andrich, Ida Marias. A Course in Rasch Measurement Theory Measuring in the Educational, Social and Health Sciences. 2019. Springer. 482 p.
8. Лапшихина Е.А., Муслов С.А. Исследование качества жизни больных раком предстательной железы и психометрические свойства опросника EORTC QLQ-PR25 // Научное обозрение. Медицинские науки. 2021. № 4. С. 16–31. DOI: 10.17513/srms.1200.
9. Анисимова Т.С., Маслак А.А., Осипов С.А., Поздняков С.А. Исследование точности измерения латентной переменной в зависимости от числа градаций индикаторных переменных // Теория и практика измерения латентных переменных в образовании: материалы Седьмой всероссийской научно-практической конференции / Отв. ред. Маслак А.А.; Славянск-на-Кубани: Изд. центр СГПИ, 2005. С. 12–21.
10. Завьялов А.А., Кашурников А.Ю., Андреев Д.А. Специализированные электронные опросники исходов лучевой терапии и качества жизни онкологических больных // Врач и информационные технологии. 2021. № 2. С. 28–35.
11. Advances in Patient Reported Outcomes: Integration and Innovation: Leeds, UK. 13 June 2019. J Patient Rep Outcomes. 2020; 4(1): 28. DOI: 10.1186/s41687-020-00193-x.
12. Осипов С.А., Маслак А.А. Оценивание параметров модели Раша методом парных сравнений // Теория и практика измерения компетенций и других латентных переменных в образовании: материалы XV (03–05 февраля 2011 года) и XVI (01–03 июля 2011 года) Всероссийских (с международным участием) научно-практических конференций. Славянск-на-Кубани: Изд. Центр СГПИ. 2011. С. 65–72.
13. Евсина О.В. Качество жизни в медицине – важный показатель состояния здоровья пациента (обзор литературы) // Личность в меняющемся мире: здоровье, адаптация, развитие. 2013. № 1. С. 119–33.
14. Аванесов В.С. Три источника становления метрической системы Георга Раша (RM) // Педагогические измерения. 2004. № 1. С. 15–21.
15. Cella D. Measuring quality of life in palliative care. Seminars in Oncology 1995:73-81.