

**ISSN 1993-3916**

**Том 27      Номер 1 (86)      Март 2021**

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК**

# **АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ**

Журнал освещает фундаментальные исследования и результаты прикладных работ по проблемам аридных экосистем и борьбы с антропогенным опустыниванием в региональном и глобальном масштабах. Издается с 1995 года по решению Бюро Отделения общей биологии Российской академии наук.

МОСКВА: Товарищество научных изданий КМК



**2021**

© Журнал основан в 1995 г.

Издается при поддержке

Прикаспийского института биологических ресурсов и

Института геологии Дагестанского научного центра Российской академии наук,

Института водных проблем Российской академии наук,

Товарищества научных изданий КМК

и содействии региональных отделений секции

"Проблемы изучения аридных экосистем и борьбы с опустыниванием"

Научного совета "Проблемы экологии биологических систем"

отделения биологических наук Российской академии наук.

Подписной индекс русской версии журнала 39775 в 1 томе каталога «Пресса России»

**Журнал включен в систему Российского индекса научного  
цитирования (РИНЦ) ELIBRARY.ru, в базу научной  
электронной библиотеки “КИБЕРЛЕННИКА”  
CYBERLENINCA.ru, в базу Российской государственной  
библиотеки (РГБ) rsl.ru, в базу данных Библиотеки по  
естественным наукам Российской академии наук (БЕН РАН),  
в базу данных Russian Science Citation Index, размещенную на  
платформе Web of Science, входит в число реферируемых  
журналов и Базы данных Scopus, ВИНТИ, Google Scholar,  
AGRICOLA, EBSCO Discovery Service, OCLC, Summon by  
ProQuest, включен в Перечень изданий, рекомендованных  
ВАК РФ, передается в Российскую книжную палату,  
переводится на английский и распространяется  
издательством Springer за пределами России.**

**Сведения о журнале ежегодно поступают в международную  
справочную систему «Ulrich's Periodicals Directory».**

**Информация о журнале, правила для авторов располагаются на сайте  
[http://aridecosystems.ru/;](http://aridecosystems.ru/)**

**архив полнотекстовых статей по адресам: [http://aridecosystems.ru/архивы/;](http://aridecosystems.ru/архивы/)  
[http://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=8404&code=99990527,](http://elibrary.ru/title_about.asp?id=8404&code=99990527)  
<https://cyberleninka.ru/journal/n/aridnye-ekosistemy#/1009295>**

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
ОТДЕЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ НАУК РАН  
ПРИКАСПИЙСКИЙ ИНСТИТУТ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ  
ДАГЕСТАНСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН  
ОТДЕЛЕНИЕ НАУК О ЗЕМЛЕ РАН  
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ РАН  
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ ДАГЕСТАНСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН

СЕКЦИЯ "Проблемы изучения аридных экосистем и борьбы с опустыниванием"  
Научного совета по проблемам экологии биологических систем

## АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

Том 27, № 1 (86), 2021, март

Журнал основан в январе 1995 г.

Выходит 4 раза в год

Главный редактор

доктор биологических наук, профессор  
З.Г. Залибеков\*\*

Заместитель главного редактора

доктор географических наук  
Ж.В. Кузьмина\*

Редакционная коллегия:

Б.Д. Абатуров, С.-В. Брекле (Германия), К.Б. Гонгальский, А. Джилили (Китай),  
Т.В. Дикарева, Л.А. Димеева (Казахстан), Т.Д. Зинченко, И.С. Зонн, К.Н. Кулик,  
Г.С. Куст, В.В. Неронов, К.З. Омаров, Л. Орловская (Израиль), Н.И. Рабазанов,  
А.А. Тишков, В.И. Черкашин, А.А. Чибилев, З.Ш. Шамсутдинов

Редакционный совет:

Д.Б. Асгерова, А.Б. Биарсланов, Э.А. Рустамов (Туркмения), Н.З. Шамсутдинов

Ответственные за выпуск:

Ж.В. Кузьмина\*, О.С. Гринченко\*(Ответственный секретарь)

Адреса редакции:

\*Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3, ИВП РАН  
Телефон: (499) 135-70-41. Fax: (499) 135-54-15  
E-mail: arid.journal@yandex.ru

\*\*Россия, 367025, г. Махачкала, ул. Гаджиева, д. 45, ПИБР ДНЦ РАН  
Телефон: (872-2) 67-09-83  
E-mail: arid\_journal@mail.ru

Москва: Товарищество научных изданий КМК  
**2021**

## СОДЕРЖАНИЕ

---

Том 27, номер 1 (86), 2021 март

---

### СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Современное состояние концепции и разработка типологии моделей устойчивого землепользования

*О.В. Андреева, В.А. Лобковский, Г.С. Куст, И.С. Зонн*

3-14

Потенциал биопродукционных ресурсов почвенного покрова: использование и источники возобновления

*З.Г. Залибеков, С.А. Мамаев, А.Б. Биарсланов, Д.Б. Асгерова, Р.А. Магомедов*

15-23

Характеристики почв и изменения запасов органического углерода в них как результат сведения лесов в полуаридном регионе Загроса (Иран)

*С. Джариде, С. Альванинежад, П. Голами, М.Р. Мирзаи, М. Армин*

24-34

Фитомасса и запасы углерода и азота в контрастных по продуктивности нагорных дубравах южной лесостепи

*Н.Ф. Каплина, Н.Ю. Кулакова*

35-42

Проявление засоления и солонцеватости в зональных почвах сухих степей Монголии

*Е.И. Панкова, И.А. Ямнова*

43-53

Сезонная динамика подземной части эфемерово-полынной полупустыни Кура-Араксинской низменности в современных климатических условиях

*С.А. Ганиева, Э.А. Гурбанов*

54-61

Распространение видов ценофлор криофитных степей и подушечников с участием *Stellaria pulvinata* grub. в Монгольском Алтае

*М.В. Бочарников*

62-73

Лекарственные растения аридных и semiаридных биомов России

*Т.В. Дикарева, В.Ю. Румянцев, М.С. Солдатов, С.М. Малхазова*

74-85

Леймус китайский (*Leymus chinensis* (trin.) tzvelev) в Западном Забайкалье: структура сообществ, продукция и биохимический состав в современных условиях произрастания

*М.Г. Меркушева, Н.К. Бадмаева, Л.Н. Болонева, И.Н. Лаврентьева*

86-96

Оценка состояния популяций *Tulipa lehmanniana* Mercklin в условиях пустыни Кызылкум (Узбекистан)

*Х.Ф. Шомуродов, О.С. Абдураимов, Б.А. Адилов*

97-105

Сезонная динамика структуры сообществ почвенных нематод каштановых почв долины Маныча при пастьбищной нагрузке

*В.Ю. Шматко, К.С. Сушико, Т.А. Соколова, Л.П. Ильина*

106-118

---

### ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

Типизация пашни в агроландшафтах Волгоградской области

*А.М. Беляков*

119-126

---

### ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Термический режим речных вод как ответная реакция на климатические процессы в бассейне Верхнего Дона

*В.А. Дмитриева, С.В. Бучик*

127-134

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 502.35; 504.052

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ КОНЦЕПЦИИ И РАЗРАБОТКА  
ТИПОЛОГИИ МОДЕЛЕЙ УСТОЙЧИВОГО ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ<sup>1</sup>

© 2021 г. О.В. Андреева\*, В.А. Лобковский\*, Г.С. Куст\*, И.С. Зонн\*\*

\*Институт географии РАН

Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., 29. E-mail: andreeva@igras.ru

\*\*Московский университет им. С.Ю. Витте

Россия, 115432, г. Москва, 2-й Кожуховский проезд, д. 12, стр. 1. E-mail: zonnis@list.ru

Поступила в редакцию 11.08.2020. После доработки 30.08.2020. Принята к публикации 01.09.2020.

На основании обзора состояния современных исследований показана высокая актуальность глобальной проблемы устойчивого землепользования для России, однако сама концепция устойчивого землепользования и ее методология находятся в состоянии развития. В развитии методологии устойчивого землепользования определены понятия «объект землепользования» и «модель устойчивого землепользования». Сформулированы подходы к типологии объектов землепользования и описана иерархия практик землепользования с использованием концепции нейтрального баланса деградации земель. Описаны 15 типов землепользования, объединенных в 4 класса, из которых три класса характеризуют модели устойчивого землепользования, а четвертый класс объединяет практики, которые нельзя признать устойчивыми. Показано, что нейтральный баланс не всегда достигается в результате применения практик землепользования.

**Ключевые слова:** устойчивое землепользование, нейтральный баланс деградации земель, модель устойчивого землепользования.

**DOI:** 10.24411/1993-3916-2021-10132

**Обзор состояния проблемы устойчивого землепользования (УЗП)**

В последнее время журнал «Аридные экосистемы» неоднократно обращался к теме устойчивого землепользования (Стасюк, 2008; Куст и др., 2011; Сапанов и др., 2015; Красноярова и др., 2019; Болданов, Мухин, 2019; Безуглова и др., 2020). Эта тема особо актуальна, поскольку острота проблемы сокращения и деградации земельных ресурсов растет одновременно с численностью населения планеты и нерациональным потреблением (Montanarella et al., 2016; GLO, 2017; Xie et al., 2020). Статистика Google Scholar показывает, что по этой проблематике опубликовано около 3 млн. работ, из них до 1990 года – всего немногим более 16 тыс., с 1990 по 1999 гг. – 226 тыс., с 2000 по 2009 гг. – 1.46 млн., с 2010 г. по настоящее время – более 1.3 млн., что показывает не снижающееся внимание к проблеме за последние 20 лет. В последнее время к наиболее всеобъемлющим обзорным работам следует отнести несколько (Sanz et al., 2017; GLO, 2017, 2019; Xie et al., 2020; Salaisook et al., 2020; Montanarella, Panagos, 2021).

Подсчитано (Sustainable Land Use ..., 2012; Orr et al., 2017; Chasek et al., 2019), что только за последние 50 лет человеческая деятельность охватила более 80% поверхности суши в мире. Изменения в землепользовании и земном покрове (LUCC) являются наиболее заметным показателем человеческого следа и наиболее важной движущей силой деградации земель и утраты биоразнообразия.

Одним из эффективных способов сохранения почвенно-земельных ресурсов является применение практик устойчивого землепользования (УЗП). Показано (Reed et al., 2011; Sanz et al., 2017), что потенциальные преимущества внедрения технологий УЗП для одновременного решения

<sup>1</sup> Статья подготовлена в рамках темы Государственного задания ИГ РАН № 0127-2019-0010 «Разработка научных основ устойчивого управления природно-антропогенными системами на основе моделей сбалансированного землепользования». Сбор материалов выполнялся при поддержке гранта РНФ 18-17-00178 «Развитие фундаментальной концепции нейтрального баланса деградации земель».

проблем опустынивания, деградации земель и последствия засух, адаптации к изменению климата и смягчения его воздействий зачастую достигают и других сопутствующих выгод, таких как повышение биоразнообразия и сохранение качества почвенных и водных ресурсов. Подходы УЗП применимы для любых экосистем и типов земель, что подтверждается успешным опытом по всему миру (Sanz et al., 2017; WOCAT Database, 2020).

На международном уровне распространению и внедрению практик УЗП способствовало создание в 1992 году международной платформы по природосберегающим подходам и технологиям WOCAT (WOCAT Database, 2020). В базе данных WOCAT на сегодняшний день описаны и задокументированы более 1500 успешных практик, применяемых по всему миру. Созданы и функционируют региональные и национальные сети, основанные на развитии подходов WOCAT, особенно в странах Юго-Восточной Азии: BHUCAT, THAICAT, BANCAT и Африке – UgaCAT, EthioCAT. Эти подходы направлены главным образом на борьбу с опустыниванием, деградацией земель и засухой и ориентированы на вклад в смягчение и адаптацию к изменениям климата, тем самым решая задачи природоохранных конвенций в области устойчивого развития (Akhtar-Schuster et al., 2017).

Группа WOCAT была одной из первых, предложивших базовую классификацию практик УЗП, которая включает широкий спектр агрономических, инженерных, вегетативных, управлеченческих мероприятий, основанных на ключевых принципах поддержания и повышения продуктивности земель и защиты природных ресурсов с учетом социально-экономической эффективности. Важным вкладом в развитие методологии УЗП стали 10 основных «законов», определяющих устойчивое управление земельными ресурсами и почвами (Lal, 2009). Основное внимание уделяется состоянию и использованию почвенных ресурсов, процессам деградации почв и необходимым действиям, направленным на повышение плодородия и обеспечения продовольственной безопасности. К сожалению, экосистемные особенности и функции отражены в этих «законах» только с позиции баланса углерода и повышения продуктивности.

Одна из первых попыток систематизировать подходы УЗП в рамках методологии LULCC (Land Use and Land Cover Change) и выделить их группы (типы моделей) была предпринята в международном обзоре «Sustainable Land Use for the 21st Century» (2012). Выделены такие группы моделей как: географические (включая статистические и «основанные на закономерностях» (rule-based)), экономические (включая основанные на равновесии в пределах только некоторых секторов (PEM-модели) и на полном равновесии (CGE-модели), интегрированные экономические (PEM и CGE), экологические, а также интегрированные географические-экономические-экологические. Отмечается, что выделение типов моделей изменений, включая экономические, географические и экологические аспекты, крайне важно для определения пространственного распределения выгод и затрат от землепользования и практик устойчивого землепользования.

Теоретические основы проблемы устойчивого развития (и в определенной степени – практик землепользования в различных отраслях) в современной России были освещены в серии из пяти выпусков «Устойчивое развитие: проблемы и перспективы» (2002, 2005, 2006, 2010, 2012), инициированной Институтом географии РАН с 2002 по 2012 гг. Однако дальнейшее развитие концепции УЗП в нашей стране большей частью происходило в направлении правовых, экономических и социальных аспектов этой проблемы (Медведева, 2009; Березко, Кочубей, 2016; Киселев и др., 2016; Glazyrina et al., 2018; Бобылев, Горячева, 2019). В работах экономистов отмечается важность экологической составляющей, в частности природного потенциала и экосистемных услуг, однако основной акцент сделан на оценку экономической выгоды от планирования и управления землепользованием. Природные процессы и отклики экосистем и их отдельных компонентов (почвы, биота, местные водные ресурсы) на антропогенные воздействия учитываются не в достаточной мере. Также и на международном уровне – акцент при исследовании проблем УЗП в последние годы смещается в область социально-экономического управления и теории принятия решений (Ziadat et al., 2018; FAO, 2020; WOCAT Database, 2020).

Вместе с тем, несмотря на значительное количество исследований в области УЗП, эта концепция и ее методология все еще находятся в состоянии развития, в частности, остается неясным как определять «устойчивость» практик землепользования, нет четко определенных объектов и предмета исследования, нет общепринятых классификаций и группировок, методов исследования практик УЗП. Даже в глобальной базе данных WOCAT трудно найти объяснение тому, почему та или иная

практика или подход должна рассматриваться в числе устойчивых. Сам термин «устойчивое землепользование» в течение последних 30 лет многими специалистами трактовался по разному (Sanz et al., 2017; Куст и др., 2018), и только в последние годы получил более-менее согласованное определение, с которым соглашается большинство исследователей: это «устойчивое использование ресурсов земель, включающих почвы, воду, растительный и животный мир для производства товаров и услуг, отвечающих меняющимся потребностям людей, при условии обеспечения долгосрочного продуктивного потенциала этих ресурсов и сохранения их экологических функций» (Liniger et al., 2017). Одновременно с термином УЗП (иногда в русскоязычной литературе можно встретить синонимичный термин «устойчивое управление земельными ресурсами») встречаются близкие понятия, такие как «интегрированное управление ландшафтами», «почвенно-сберегающие технологии», «органическое земледелие», «климатическое сельское хозяйство» и др. Все эти понятия объединены идеей о практических действиях по сохранению природного потенциала определенной территории при ее устойчивом социально-экономическом развитии. В России и странах СНГ, к сожалению, развитие теоретических основ к выбору конкретных практик УЗП пока не получило должного импульса, хотя потребность в этом высока и обусловливается повышенным вниманием к тиражированию успешного опыта УЗП, в особенности в странах Центральной Азии и Закавказья (CAWMP ..., 2011; Куст и др., 2016; Асаналиев и др. 2018).

Надо отметить, что в нашей стране естественно-научные подходы к выбору практик УЗП в засушливых областях были сформулированы В.В. Докучаевым еще в конце 19 века (1949). Эти положения активно развивались в советский период, однако не получили достаточного освещения в международных источниках. Значительный научно-практический опыт был получен ФНЦ агроэкологии РАН (ранее – Всероссийский научно-исследовательский агролесомелиоративный институт) – по разработке и внедрению систем полезащитного лесоразведения в стране, ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии РАН – по разработке систем противоэрозионных мероприятий, Национальным институтом пустынь, растительного и животного мира Туркменистана – по освоению пустынь и борьбе с опустыниванием. Десятки научно-производственных и научных учреждений были вовлечены в государственные программы по развитию оросительных мелиораций в засушливых регионах по всей стране, включая разработку разных способов и режимов ирригации, освоение и использование засоленных и солонцовых земель, сохранение влаги в почвах, использование засухоустойчивых культур, и т.п. Однако только отдельные практики УЗП, принятые в нашей стране, отражены в современных международных базах и обзорах (WOCAT Database, 2020; GLO, 2019).

Существенный импульс для оценки эффективности практик УЗП на основе развития естественнонаучных подходов был дан в связи с появлением другой современной концепции – нейтрального баланса деградации земель (НБДЗ; Orr et al., 2017; Kust et al., 2020). НБДЗ определяется как «состояние, при котором объем и количество земельных ресурсов, необходимых для поддержания экосистемных функций и услуг, и усиления продовольственной безопасности, остаются стабильными или же увеличиваются в конкретно определенных временных и пространственных масштабах и экосистемах» (UNCCD, 2016). С самого начала разработки концепции НБДЗ она была тесно интегрирована с проблемой устойчивого землепользования. С появлением понятия НБДЗ удается более четко идентифицировать объекты и предмет исследования УЗП (Куст и др., 2019). Подходы и практики УЗП стало возможным рассматривать, с одной стороны, как способы достижения НБДЗ (Kust, Andreeva, 2014; GLO, 2017; Sanz et al., 2017; Куст и др., 2019), а с другой стороны, была высказана идея, что достижение НБДЗ на конкретных территориях может рассматриваться как эффективное средство распознавания и оценки эффективности практик устойчивого землепользования (Kust et al., 2017). Этот подход получил поддержку, что нашло имплицитное выражение в подходах, взятых на вооружение несколькими международными организациями. В частности, он звучит в документах UNCCD (Sanz et al., 2017), IUCN (2015), Global Environment Facility (2020), UNDP (2020), лежит в основе программных действий фонда LDN (2017), внедряется в стратегические подходы других международных организаций (CGIAR, World Bank и др.).

С учетом приведенного краткого обзора проблемы УЗП, цель нашей работы состояла в поиске возможных критериев для оценки практик землепользования с точки зрения их устойчивости, разработке подходов к типологии практик устойчивого землепользования и дальнейшего развития рабочей гипотезы о том, как НБДЗ может быть мерилом УЗП для определенных объектов.

### Объекты и методы исследования

В рамках данного исследования изучались задокументированные в открытых источниках (научной литературе, базах данных) практики землепользования, которые по своим характеристикам относятся к категории «устойчивые». Рассмотрено в совокупности более 200 описаний, включая исследованные лично авторами. Для описания практики землепользования на местном уровне наиболее целесообразно оперировать понятием «объект». Под этим понимается целостный ландшафтно-хозяйственный объект с определенными границами на местности, в пределах которого оценивается эффективность применяемых практик землепользования и достижение НБДЗ (Куст и др., 2019). Целостность таких объектов в зависимости от природных и социально-экономических условий определяется одним или несколькими условиями: административными или хозяйственными границами, однородностью природно-ландшафтных условий (например, водосборный бассейн или его часть), однородными технологиями природопользования (например, в рамках сходного севооборота или пастбищеоборота, и т.п.).

В основу методологических подходов к анализу эффективности практик устойчивого землепользования был положен алгоритм DPSheIR – модифицированный принцип оценки объектов землепользования по схеме DPSIR (Driver, Pressure, State, Impact, Response = Движущие силы, Нагрузка, Состояние, Воздействие, Реакция), где «h» (от «human») и «e» (от «environmental») призваны отразить особенности влияния и воздействия человека и окружающей среды, в том числе вопросы оценки риска (UNCCD, 2013; Куст и др., 2018). Концепция DPSheIR рассматривает взаимовлияние движущих сил (социальных, экономических или экологических), оказывающих воздействие на окружающую среду, в результате которого она приходит к некому новому состоянию.

Схема оценки практик землепользования с целью распознавания УЗП приведена на рисунке 1.



**Рис. 1.** Принципиальная схема оценки устойчивости практики землепользования.

Анализ практик землепользования проводился на двух уровнях рассмотрения.

Уровень А – анализ обобщенных примеров землепользования, приведенных в открытых источниках. Анализ проводился по следующим основаниям с их последующей сравнительной качественной оценкой по степени проявления: внешнее негативное воздействие (природное), внешнее негативное воздействие (антропогенное), риск деградации, природный/исходный потенциал, способность к самовосстановлению, искусственное поддержание баланса/восстановление, адаптационные технологии, инновационные технологии для расширения потенциала, достаточность ресурсов и социально-экономических условий. На основании этого анализа и определения «моделей» землепользования выделялись типы и классы землепользования.

На уровне Б (локальном) проводился анализ конкретного объекта и практики с целью отнесения к какому-либо из типов землепользования, с помощью специально разработанных чек-листов и полевого описания. Анализ объекта включал рассмотрение совокупности рисков, преимуществ, параметров состояния объекта, включая природные условия, параметры достижения НБДЗ, сложившуюся практику использования земель и других показателей с дальнейшей оценкой с целью

выявления возможных критериев отнесения объекта к эффективным моделям УЗП, перспективным для достижения состояния НБДЗ на местном уровне.

### **Результаты и обсуждение**

Ниже представлены примеры результатов экспертной оценки, проведенной для двух уровней.

*Уровень А – анализ обобщенных примеров землепользования.* Результаты анализа многочисленных практик были сведены в единую аналитическую таблицу, фрагмент которой представлен ниже (табл. 1). На основании обобщения полученных результатов была проведена типология землепользования с выделением моделей, типов и классов.

«Моделью землепользования» в рамках данного исследования будем называть центральный образ совокупности практик и технологий (в отличие от частных местных практик), которые характеризуются определенным сходным набором технологических приемов, природными и социально-экономическими условиями и потенциалом, рисками деградации земель (включая антропогенные воздействия), возможностью и способами достижения НБДЗ. Например, к моделям землепользования можно отнести технологии прямого посева сельскохозяйственных культур, системы севооборотов, системы ирригации, технологии полезащитного лесоразведения, комплексы противоэрозионных мероприятий, системы управления пастбищами и т.п. Большое разнообразие таких моделей не позволяет в рамках отдельной статьи остановиться на их детальных отличиях. Однако их отличия, связанные с отношением к достижению НБДЗ, способностью к самовосстановлению, уровнем природного потенциала, могут быть генерализованы и классифицированы на уровне типов землепользования, объединяемых в соответствующие классы (табл. 2).

Как видно из таблицы 2, обобщение полученных результатов позволяет выделить 15 типов землепользования, объединяемых в 4 класса. Первые три класса характеризуют модели устойчивого землепользования, а четвертый класс объединяет практики, которые нельзя признать устойчивыми. Каждый из выделенных классов неоднороден, поэтому вполне логичным представляется дифференциация классов на типы землепользования по значению ведущего для данного класса признака. Так, для природно-обусловленного УЗП таким признаком являются природный потенциал и самовосстановление, для поддерживающего УЗП важным является использование природных и социально-экономических предпосылок, для расширенного УЗП – в первую очередь технологический потенциал.

Из приведенных в таблице характеристик хорошо видно, что в результате применения практик УЗП не всегда достигается нейтральный баланс, и наоборот, объекты, которые могут быть охарактеризованы как достигшие НБДЗ, не обязательно становятся таковыми в результате УЗП.

Разработанная типология делает возможным анализ любой конкретной практики землепользования на конкретном объекте с помощью предложенных подходов. Это важно для дальнейшего принятия решений о целесообразности тех или иных приемов землепользования на данной территории. Для проверки этого положения были проанализированы несколько объектов, расположенных в разных природных и экономических условиях, с разными практиками землепользования в области борьбы с сорняками и орошаемого земледелия, пастбищного скотоводства, защитного лесоразведения.

В настоящей работе для примера приведем краткий анализ территории аграрного инновационного Центра «Орловка-Аграр» (Похвистневский район Самарской области, Россия). Основное направление деятельности компании – производство высококачественного семенного материала и сельскохозяйственной продукции с оптимальным и устойчивым использованием потенциала хозяйства. Для этого в течение последних нескольких лет внедряются ресурсосберегающие технологии, технологии точного земледелия и прямого посева (no-till), системы управления качеством производства и система управления плодородием почв, а также используются современные сорта семян и высококачественные средства защиты растений.

Результаты анализа на уровне Б для конкретного объекта и практики землепользования «Система земледелия с использованием технологий прямого посева (no-till) в севообороте соя-соя-озимая пшеница» приведены на рисунке 2.

Рассматриваемый объект имеет хороший и высокий природный потенциал, но при нарушении технологий обработки, особенно на ранних этапах их внедрения, отмечаются признаки деградации

**Таблица 1.** Анализ наиболее распространенных примеров землепользования (фрагмент).

Примеры землепользования	ПНВ	АНВ	РД	III	СВ	ИБ	АГ	ИТ	Р	Общая характеристика	УЗП (варианты)
Пахотное земледелие при естественном и регулярном повышении плодородия почв (например, в заливаемых поймах и дельтах рек)	-	+	+	+++	+++	-	-	-	x	Высокий природный потенциал, хорошее регулярное самовосстановление (естественное) даже при интенсивной нагрузке	Природно-обусловленное УЗП
Пашня на черноземах без компенсационных и адаптационных мероприятий	-	+	+ - +	+++	+	-	-	-	-	Экстенсивное использование природного потенциала без явных признаков деградации (небольшой стресс)	Не относится к УЗП
Системы земледелия с использованием технологий прямого посева	-	+	+ ++ +++	+ ++ +++	+	++ +++	++ +++	+++	+	Высокий актуальный потенциал, природные и социально-экономические предпосылки используются в полной мере	Поддерживаемое УЗП
Системы земледелия на основе капельного орошения в пустынных областях	-	+++ ++	+++	+ - +	+ -	+++	+++	+++	++	При высоком стрессе – существенное расширение исходного природного потенциала за счет инновационных и адаптационных технологий – высокая степень расширенного УЗП	Расширенное УЗП
Орошение при высоком уровне минерализованных грунтовых вод	-	+++ ++	+++ ++	+ ++	+ -	++	++	- +	+	При высоком стрессе – поддержание и повышение исходного природного потенциала за счет восстановительных и адаптационных технологий – средняя степень расширенного УЗП	УЗП
Орошение на засоленных землях (с промывками почв)	-	+++ ++	+++	+	+	+++	+ - -	++ +++	-	Снижение природного и расширенного потенциала, несмотря на попытки поддерживать и восстанавливать (сильный стресс)	Не относится к УЗП
Зарастающие пахотные земли после их забрасывания в лесостепных и степных регионах	-	-	- + -	+ +	+++ ++	-	-	-	x	Пост-антропогенное функционирование с нарастанием природного потенциала	Не относится к УЗП

## Продолжение таблицы 1.

Примеры землепользования	ПНВ	АНВ	РД	ПП	СВ	ИБ	АТ	ИТ	Р	Общая характеристика	УЗП (варианты)
Улучшение земель с помощью севооборотов	-	+	+	++	-	++	++	-	+	Средний актуальный потенциал, может быть поднят, есть доступные недоиспользованные природные резервы	
Искусственный подсев трав на пастбищах и сенокосах	-	+	+	++	+	++	+	+-	+	Средний актуальный потенциал, может быть поднят, есть доступные недоиспользованные природные резервы	Поддерживаемое УЗП
Пустынные и полупустынные присельные и отгонные пастбища без превышения нормы выпаса (нагрузки)	-	+	+++	++	+	+	+	-	-	Низкий природный потенциал, система хрупкая и может быстро разбалансироваться при превышении нагрузки	Природно-обусловленное УЗП
Пустынные и полупустынные присельные и отгонные пастбища с существенным превышением нормы выпаса (нагрузки)	-	+++	+++	+	++	-	-	-	-	Снижение природного потенциала земель при отсутствии мероприятий по восстановлению (тенденция к деградации, возможно восстановление до исходного состояния)	Не относится к УЗП
Заболоченные луга-сенокосы с перспективой регулирования режима увлажнения	-	-	++	++	+++	+++	+	-	+	Низкий актуальный потенциал, может быть значительно поднят за счет использования новых технологий	Природно-обусловленное УЗП
Садоводство на склонах, террасирование в горных регионах	+	+-	+++	+	-	+	+	-	+	Дальнейшее повышение природного потенциала невозможно или присутствует в незначительном объеме, поскольку отсутствуют доступные технологии при существующих предпосылках	Расширенное УЗП

### Продолжение таблицы 1.

Примеры землепользования	ПНВ	АНВ	РД	ПП	СВ	ИБ	АТ	ИТ	Р	Общая характеристика	УЗП (варианты)
Природные полупустынные экосистемы в условиях изменения климата или ЧС (пожары, наводнения), например, кластеры ООПТ с заповедным режимом охраны	+		+	++	+	-	-	-	+	Стрессовое функционирование при чрезвычайных ситуациях или изменениях климата	УЗП
	++	-	++	++	+	+-	-	-	-	Деградация земель	

**Примечания к таблице 1.** Проявление признака: +++ – сильное, ++ – умеренное, + – слабое, +- – очень слабое, - – отсутствует, x – не имеет значения; одна группа примеров может иметь разные степени проявления некоторых признаков. ПНВ – природное негативное воздействие, АНВ – антропогенное негативное воздействие, РД – риск деградации, ПП – природный/исходный потенциал, СВ – способность к самовосстановлению, ИБ – искусственное поддержание баланса/восстановление, АТ – адаптационные технологии, ИТ – инновационные технологии для расширения потенциала, Р – достаточность ресурсов и социально-экономических условий.

земель (засорение пашни сорняками, снижение продуктивности). Применяемые инновационные технологии постепенно способствуют снижению риска таких деградационных явлений, как плоскостная и линейная эрозия, снижение содержания органического углерода и переуплотнение. По результатам оценки объект может быть отнесен к Классу 2 – «Поддерживаемое УЗП», тип УЗП – 2.2 «Средний актуальный потенциал, есть доступные недоиспользованные природные резервы. НБДЗ достигается, но риск деградационных процессов сохраняется». Для объектов, относимых к данному типу моделей УЗП, может быть рекомендовано дальнейшее применение используемых почвозащитных технологий при строгом контроле развития деградационных явлений.

### Заключение

Концепция УЗП в настоящее время переживает «бум» развития социально-экономических подходов, что обусловлено важностью обеспечения продовольственной безопасности и экономического роста. При этом с развитием подходов НБДЗ появилась возможность по-новому переосмыслить естественнонаучные подходы к обоснованию «устойчивости» землепользования, что является залогом предотвращения деградации земель и снижения их природного потенциала для конкретных объектов землепользования, а также стабильного функционирования экосистем в целом. Единых подходов, характеризующих не только экономическую и социальную эффективность, но и «устойчивость» практик УЗП с позиции сохранения и расширения природно-ресурсного потенциала земель, пока не сформулировано. Проведенный анализ показывает, что выработка универсальных подходов в этом направлении в определенной степени может способствовать группировка практик землепользования в определенные «модели» с дальнейшей их типологией по признакам природного потенциала и способности к самовосстановлению, рискам деградации, использованию природных и социально-экономических предпосылок для предотвращения деградационных процессов, а также технологических приемов для расширения природного потенциала и его поддержания. В большинстве случаев внедрение успешных практик УЗП является залогом предотвращения деградации земель и достижения НБДЗ. Однако возможны ситуации, когда стабильное состояние земель обеспечено высоким природным потенциалом и не зависит от землепользования.

В данной работе предпринята попытка проанализировать и сгруппировать практики землепользования, применяемые в различных природных и экономических условиях в мире и в России, с учетом модифицированного алгоритма оценки DPSheIR и возможности достижения НБДЗ. В результате были определены некоторые положения.

1. Даны определения понятий «объект землепользования» и «модель УЗП». Объект УЗП – это целостный ландшафтно-хозяйственный объект с определенными границами на местности, в пределах

**Таблица 2.** Классы, типы УЗП и возможность достижения НБДЗ.

<b>Класс и тип землепользования</b>	<b>Возможность достижения НБДЗ</b>
<i>1. Природно-обусловленное УЗП</i>	
1.1. Высокий природный потенциал, хорошее регулярное самовосстановление (естественное восстановление) даже при интенсивной нагрузке	Вероятность достижения НБДЗ – 90-100%
1.2. Средний природный потенциал, самовосстановление идет медленно, но запас природного потенциала позволяет использовать объект без существенных вложений достаточно долго при интенсивной нагрузке	НБДЗ не достигается, но потенциально может быть достигнуто при применении соответствующих компенсационных и адаптационных технологий
1.3. Низкий природный потенциал, система хрупкая и быстро разбалансируется при превышении нагрузки	НБДЗ не достигается, риск развития деградационных процессов высокий
<i>2. Поддерживаемое УЗП</i>	
2.1. Высокий актуальный потенциал, природные и социально-экономические предпосылки используются в полной мере	НБДЗ достигается
2.2. Средний актуальный потенциал, может быть поднят, есть доступные недоиспользованные природные резервы	НБДЗ достигается, но риск развития деградационных процессов сохраняется
2.3. Низкий актуальный потенциал, может быть сильно поднят за счет недоиспользованных резервов без ухудшения НБДЗ	НБДЗ не достигается, риск развития деградационных процессов высокий
<i>3. Расширенное УЗП</i>	
3.1. Высокая степень расширенного УЗП, используются инновационные технологии, расширяющие природный потенциал системы	НБДЗ достигается
3.2. Средняя степень расширенного УЗП	НБДЗ достигается, риск развития деградационных процессов сохраняется
3.3. Расширение невозможно или присутствует в незначительном объеме, поскольку отсутствуют доступные технологии при существующих предпосылках	НБДЗ не достигается, риск развития деградационных процессов высокий
<i>4. Не относится к УЗП</i>	
4.1. Природное устойчивое функционирование (с нарастанием потенциала или стабильное состояние)	НБДЗ достигается
4.2. Недоиспользование природного потенциала, без активного его снижения (небольшой стресс)	НБДЗ достигается
4.3. Снижение природного потенциала, несмотря на попытки поддерживать и восстанавливать (стресс)	НБДЗ не достигается
4.4. Снижение потенциала при активном содействии этому процессу (тенденция к деградации, возможно восстановление до исходного состояния)	НБДЗ не достигается
4.5. Разбалансирование системы – деградация (достигнута точка невозврата, но функционирование продолжается в экстремально стрессовом состоянии, восстановление до исходного состояния невозможно)	НБДЗ формально может быть достигнуто, хотя общий потенциал крайне низок
4.6. Полная деградация (полная потеря системы, почти полное или полное отсутствие признаков исходного состояния)	НБДЗ не достигается

**Система земледелия с использованием технологии no-till (Озимая пшеница, Самарская область, РФ).**

Индикаторы	Показатели	Значение
<b>Движущие силы</b> Хозяйственная деятельность	Практики с хозяйственной деятельностью	Да
<b>Состояние</b> Природно-ландшафтный потенциал	Природный / исходный потенциал Health	++/+++
	Способность к самовосстановлению	+
	Возможность искусственного поддержания баланса /восстановление	++/+++
	<b>В целом по индикатору</b>	++
<b>Давление</b> Внешнее негативное воздействие (negative impact)	Природное воздействие	+
	Антропогенное воздействие	+
	Риски деградации	++/+++
	<b>В целом по индикатору</b>	++
<b>Воздействия</b> Ресурсное обеспечение	Применение адаптационных технологий	++/+++
	Иновационные технологии расширенного потенциала	+++
	Достаточность ресурсов и социально-экономических условий	++
	<b>В целом по индикатору</b>	+++



Оценка достижения УЗП		Соответствие природного потенциала территории и потенциального воздействия		
		+++	++	+
Воздействие	+++	2		
	++			
	+			

Соотношение значений индикаторов «состояние» и «давление»		Состояние Природно-ландшафтный потенциал		
		+++	++	+
Давление	+			
Внешнее негативное воздействие	++	++		
	++			
	+			

Вывод: Класс УЗП 2 - «Поддерживаемое УЗП».

Тип УЗП – 2.2 Средний актуальный потенциал, может быть поднят, есть доступные недопользованные природные резервы

**Рис. 2.** Оценка практики землепользования «Система земледелия с использованием технологии прямого посева» на примере ключевого объекта в Самарской области.

которого оценивается достижение НБДЗ и эффективность применяемых практик землепользования. Модель УЗП – это «центральный образ» совокупности практик и технологий, которые характеризуются определенным сходным набором технологических приемов, природными и социально-экономическими условиями и потенциалом, рисками деградации земель, возможностью и способами достижения НБДЗ.

2. Сформулированы подходы к типологии моделей УЗП и описана иерархия практик землепользования с выделением категорий «практика» – «модель» – «тип» – «класс».

3. Описаны 15 типов землепользования, объединенных в 4 класса, из которых три класса характеризуют модели устойчивого землепользования, а четвертый класс объединяет практики, которые нельзя признать устойчивыми. На основе разработанной типологии землепользования показано, что НБДЗ не всегда достигается в результате применения практик УЗП.

Дальнейшее развитие типологии моделей УЗП предполагает разработку типовых рекомендаций по практическим действиям, направленным на совершенствование практик землепользования на конкретных объектах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Асаналиев А., Сыдыкбаев Т., Гареева А. 2018. Почво- и водосберегающие технологии в Центральной Азии. Бишкек. 204 с.
- Безуглова О.С., Назаренко О.Г., Ильинская И.Н. 2020. Динамика деградации земель в Ростовской области // Аридные экосистемы. Т. 26. № 2 (83). С. 10-15. [Bezuglova O.S., Nazarenko O.G., Ilyinskaya I.N. 2020. Land Degradation Dynamics in Rostov Oblast // Arid Ecosystems. Vol. 10. No. 2. P. 93-97.]
- Березко О.В., Кочубей С.А. 2016. Основные факторы формирования устойчивого землепользования сельскохозяйственных организаций. Информационные системы поддержки принятия решений в АПК // Молодой учёный. № 6.3 (110.3). С. 7-10. [Электронный ресурс <https://moluch.ru/archive/110/27236>

- (дата обращения 05.08.2020]).
- Бобылев С.Н., Горячева А.А.* 2019. Идентификация и оценка экосистемных услуг: международный контекст // Вестник международных организаций: образование, наука, новая экономика. № 1. С. 225-236.
- Болданов Т.А., Мухин Г.Д.* 2019. Экологическая адаптация сельскохозяйственного землепользования в условиях изменения климата в республике Бурятия // Аридные экосистемы. Т. 25. № 1 (78). С. 10-19. [Boldanov T.A., Mukhin G.D. 2019. Ecological Adaptation of Agricultural Land Use Under Climate Change in the Republic of Buryatia // Arid Ecosystems. Vol. 9. No. 1. P.7-14.]
- Докучаев В.В.* 1949. Избранные труды. М.: Изд-во АН СССР. 644 с.
- Киселев С.В., Строков А.С., Белугин А.Ю.* 2016. Прогнозирование развития сельского хозяйства России в условиях изменения климата // Проблемы прогнозирования. № 5. С. 86-97.
- Красноярова Б.А., Орлова И.В., Плуталова Т.Г., Шарабарина С.Н.* 2019. Ландшафтно-экологическая оценка засушливых земель Российско-Казахстанского приграничья для устойчивого землепользования // Аридные экосистемы. Т. 25. № 3 (80). С. 11-18. [Krasnoyara B.A., Orlova I.V., Platalova T.G., Sharabarina S.N. 2019. Landscape-Ecological Assessment of Dry Lands of the Russian-Kazakhstan Border Zone for Sustainable Land Use // Arid Ecosystems. Vol. 9. No. 3. P. 150-156.]
- Куст Г.С., Андреева О.В., Зонн И.С.* 2018. Деградация земель и устойчивое землепользование. Словарь-справочник. М.: Перо. 107 с.
- Куст Г.С., Андреева О.В., Лобковский В.А., Костовска С.К.* 2019. Методические подходы к разработке типологии моделей устойчивого землепользования // Экология урбанизированных территорий. № 3. С. 34-40.
- Куст Г.С., Розов С.Ю., Стома Г.В., Андреев П.В.* 2011. Педогеохимическая индикация особенностей устойчивого функционирования приволжской оросительной системы (Саратовская область) // Аридные экосистемы. Т. 17. № 2 (47). С. 5-17. [Kust G.S., Rozov S.Yu., Stoma G.V., Andreev P.V. 2011. Pedogeochemical indication of sustainable land use at the Privolzhskaya irrigation system (Saratov Region) // Arid Ecosystems. Vol. 1. No. 2. P. 74-82.]
- Куст Г.С., Сампат Т.В., Джайен Н., Момт Дж., Андреева О.В., Армстронг А., Чилдресс М., Рахимов Р.Н., Холов Н.С.* 2016. Устойчивое землепользование и сопряженные проблемы окружающей среды: примеры решения средствами международных проектов в Таджикистане // Земельные ресурсы и продовольственная безопасность Центральной Азии и Закавказья / Ред. М. Конюшкова, П. В. Красильников. Рим: ФАО. С. 155-194.
- Медведева О.Е.* 2009. Проблемы устойчивого землепользования в России. М.: ООО «Типография ЛЕВКО», Институт устойчивого развития/центр экологической политики России. 104 с.
- Сапанов М.К., Сиземская М.Л., Ахмеденов К.М.* 2015. Этапы освоения и современное использование засушливых земель северного Прикаспия // Аридные экосистемы. Т. 21. № 3 (64). С. 84-91. [Sapanov M.K., Sizemskaya M.L., Akhmedenov K.M. 2015. Reclamation stages and modern use of arid lands in the northern Caspian region // Arid Ecosystems. Vol. 5. No. 3. P. 188-193.]
- Стасюк Н.В.* 2008. К некоторым проблемам почвоведения и землепользования в Дагестане // Аридные экосистемы. Т. 14. № 35-36. С. 83-93.
- Устойчивое развитие: проблемы и перспективы. 2002. Вып. 1. Переход к устойчивому развитию: глобальный, региональный и локальный уровни. Зарубежный опыт и проблемы России. КМК. 444 с.
- Устойчивое развитие: проблемы и перспективы. 2005. Вып. 2. Устойчивое развитие сельского хозяйства и сельских территорий. Зарубежный опыт и проблемы России. КМК. 617 с.
- Устойчивое развитие: проблемы и перспективы. 2006. Вып. 3. Природопользование и устойчивое развитие. Мировые экосистемы и проблемы России. КМК. 446 с.
- Устойчивое развитие: проблемы и перспективы. 2010. Вып. 4. Рациональное природопользование: международные программы, российский и зарубежный опыт. КМК. 412 с.
- Устойчивое развитие: проблемы и перспективы. 2012. Вып. 5. Россия и ее регионы: интеграционный потенциал, риски, пути перехода к устойчивому развитию. КМК. 490 с.
- Akhtar-Schuster M., Stringer L.C., Erlewein A., Metternicht G., Minelli S., Safrie U., Sommer S.* 2017. Unpacking the concept of land degradation neutrality and addressing its operation through the Rio Conventions // Journal of Environmental Management. No. 195. P. 4-15.
- CAWMP. Community Agriculture and Watershed Project, World Bank-GEF. 2011. The Important Environmentally Sustainable Land Management Methods. Dushanbe. 121 p.
- Chasek P., Akhtar-Schuster M., Orr B.J., Luise A., Rakoto Ratsimba H., Safriel U.* 2019. Land degradation neutrality: The science-policy interface from the UNCCD to national implementation // Environmental Science & Policy. No. 92. P. 182-190.
- FAO. 2020 [Электронный ресурс <http://www.fao.org/land-water/land/sustainable-land-management/slm-decision-making/ru> (дата обращения 05.08.2020)].
- Ziadat F., Bunning S., De Pauw E.* 2018. Планирование использования земельных ресурсов для устойчивого управления землепользованием. Отдел земельных и водных ресурсов. Рабочий документ. Рим: Продовольственная и Сельскохозяйственная Организация Объединённых Наций. 76 с.

- Global Environment Facility [Электронный ресурс <https://www.thegef.org/topics/sustainable-land-management> (дата обращения 06.08.2020)].
- GLO. 2017. United Nations Convention to Combat Desertification. The Global Land Outlook, 1<sup>st</sup> ed. Bonn, Germany. 336 p.
- GLO. 2019. United Nations Convention to Combat Desertification. The Global Land Outlook, Northeast Asia Thematic Report. Bonn, Germany. 84 p.
- Glazyrina I.P., Faleychik L.M., Zabelina I.A.* 2018. Transaction costs and green economy potential in Russian regions // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. October 2018. No. 190 (1): 012008. 8 p.
- IUCN. Land Degradation Neutrality: implications and opportunities for conservation. 2<sup>nd</sup> ed. 2015 [Электронный ресурс [https://www.iucn.org/downloads/tech\\_brief\\_land\\_degradation\\_neutrality\\_ver4.pdf](https://www.iucn.org/downloads/tech_brief_land_degradation_neutrality_ver4.pdf) (дата обращения 06.08.2020)].
- Kust G., Andreeva O.* 2014. The science of making land adapted to climate change – an attempted assessment. The 5<sup>th</sup> International Conference on Drylands, Deserts and Desertification Healthy Lands // Healthy People. November 17-20, 2014. Blaustein Institutes for Desert Research Sede Boqer Campus of Ben-Gurion University, Israel. 35 p.
- Kust G., Andreeva O., Cowie A.* 2017. Land Degradation Neutrality: Concept development, practical applications and assessment // Journal of Environmental Management. No. 195. P. 16-24.
- Kust G.S., Andreeva O.V., Lobkovskiy V.A.* 2020. Land Degradation Neutrality: The Modern Approach to Research on Arid Regions at the National Level // Arid Ecosystems. No. 10. P. 87-92.
- Lal R. 2009. Laws of sustainable soil management // Agronomy for Sustainable Development. No. 29. P. 7-9.
- LDN Fund. 2017 [Электронный ресурс <https://www.cbd.int/financial/un/uncd-ldnfund2017.pdf> (дата обращения 06.08.2020)].
- Liniger H., Mekdaschi R., Moll P., Zander U.* 2017. Making sense of research for sustainable land management. 304 p.
- Montanarella L., Panagos P.* 2021. The relevance of sustainable soil management within the European Green Deal // Land Use Policy. No. 100. 6 p.
- Montanarella L., Pennock D.J., McKenzie N., Badraoui M., Chude V., Baptista I., Mamo T., Yemefack M., Aulakh M.S., Yagi K., Hong S.Y., Vijarnsorn P., Zhang G.L., Arrouays D., Black H., Krasilnikov P., Sobocká J., Alegre J., Henriquez C.R., Mendonça-Santos M. de L., Taboada M., Espinosa-Victoria D., AlShankiti A., AlaviPanah S.K., Mustafa Elsheikh E.A. El., Hempel J., Arbestain M.C., Nachtergaele F., Vargas R.* 2016. World's soils are under threat // Soil. No. 2. P. 79-82.
- Orr B.J., Cowie A.L., Castillo Sanchez V.M., Chasek P., Crossman N.D., Erlewein A., Louwagie G., Maron M., Metternicht G.I., Minelli S.* 2017. Scientific conceptual framework for land degradation neutrality // A Report of the Science-Policy Interface. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), Bonn, Germany. 128 p.
- Reed M.S., Buenemann M., Atlhopheng J., Akhtar-Schuster M., Bachmann F., Bastin G., Bigas H., Chanda R., Dougill A.J., Essahli W., Evely A.C., Fleskens L., Geeson N., Glass J.H., Hessel R., Holden J., Ioris A.A.R., Kruger B., Liniger H.P., Mphinyane W., Nainggolan D., Perkins J., Raymond C.M., Ritsema C.J., Schwilch G., Sebego R., Seely M., Stringer L.C., Thomas R., Twomlow S., Verzandvoort S.* 2011. Cross-scale monitoring and assessment of land degradation and sustainable land management: A methodological framework for knowledge management // Land Degradation & Development. No. 22. P. 261-271.
- Salaisook P., Faysse N., Tsusaka T.W.* 2020. Reasons for adoption of sustainable land management practices in a changing context: A mixed approach in Thailand // Land Use Policy. No. 96: 104676.
- Sanz M.J., Vente J. de, Chotte J.-L., Bernoux M., Kust G., Ruiz I., Almagro M., Alloza J.-A., Vallejo R., Castillo V., Hebel A., Akhtar-Schuster M.* 2017. Sustainable Land Management contribution to successful land-based climate change adaptation and mitigation // A Report of the Science-Policy Interface. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), Bonn, Germany. 170 p.
- Sustainable land use for the 21<sup>st</sup> century. 2012 [Электронный ресурс <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/1124landuse.pdf> (дата обращения 06.08.2020)].
- UNCCD. 2013. ICCD/COP (11)/CST/2. Refinement of the set of impact indicators on strategic objectives 1, 2 and 3 // Recommendations of the ad hoc advisory group of technical experts. Windhoek, Namibia, 17-20 September 2013. 38 p.
- UNCCD. 2016. Land Degradation Neutrality: The Target Setting Programme. 20 p.
- UNCED. 1992 [Электронный ресурс <https://sustainabledevelopment.un.org/milestones/unced> (дата обращения 06.08.2020)].
- UNDP. 2020 [Электронный ресурс [https://www.undp.org/content/undp/en/home/ourwork/global-policy-centres/sustainable\\_landmanagement/slm/](https://www.undp.org/content/undp/en/home/ourwork/global-policy-centres/sustainable_landmanagement/slm/) (дата обращения 06.08.2020)].
- WOCAT Database. 2020 [Электронный ресурс <https://www.wocat.net/en/global-slm-database> (дата обращения 06.08.2020)].
- Xie H., Zhang Y., Wu Z., Lv T.* 2020. A bibliometric analysis on land degradation: Current status, development, and future direction // Land. No. 9. 37 p.

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 631.4

**ПОТЕНЦИАЛ БИОПРОДУКЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА:  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ИСТОЧНИКИ ВОЗОБНОВЛЕНИЯ<sup>1</sup>**

© 2021 г. Залибеков\*, С.А. Мамаев\*, А.Б. Биарсланов\*\*\*,  
Д.Б. Асгерова\*\*, Р.А. Магомедов\*

\*Институт геологии Дагестанского федерального исследовательского центра РАН  
Россия, 367000, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. М. Ярагского, д. 75. E-mail: bfdgu@mail.ru

\*\*Прикаспийский институт биологических ресурсов  
Дагестанского федерального исследовательского центра РАН  
Россия, 367000, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Гаджиева, д. 45. E-mail: asdi7408@mail.ru

\*\*\*Лаборатория комплексных исследований природных ресурсов  
Дагестанского федерального исследовательского центра РАН  
Россия, 367000, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Гаджиева, д. 45. E-mail: axa73@mail.ru

Поступила в редакцию 04.02.2020. После доработки 12.04.2020. Принята к публикации 04.08.2020.

Почвенные ресурсы определяются пространственными показателями генетических разностей почв. Такой подход является универсальной основой учета почвенных ресурсов в глобальном, региональном и локальном масштабах. Пространственные показатели включают площади функционирующих почв и детализирующие их характеристики: размеры контуров, площади в единицах измерения, их количество, характер перехода границ и частоту сменяемости. Цель настоящей работы заключается в выявлении потенциала биопродукционных процессов, где свойственный ареалам почв потенциал отмечается неограниченным увеличением продуктивности в пределах существующих размеров почв и геометрических очертаний. Главное отличие – увеличение фитомассы и фотосинтетической деятельности растений на ограниченной в природе площади почв при использовании неисчерпаемых ресурсов космической энергии солнца и процессов, происходящих в физико-географической среде. Комбинации сочетаний, образуемые свойствами почв, и их использование приводят к формированию категорий источников возобновления ресурсов, компенсируя недостаток новых площадей, выделенных для освоения.

**Ключевые слова:** почвенные ресурсы, фитомасса, биопродукционный потенциал, разнообразие, факторы, солнечная энергия, тепловая энергия, климат.

**DOI:** 10.24411/1993-3916-2021-10133

**Объекты и методы исследования**

Объекты исследования – почвенные ресурсы (ПР). Для работы были использованы почвенные карты, картограммы, землеустроительные документы, созданные в разных масштабах для научных и производственных целей. Значимость картографических материалов заключается в том, что проводимая работа по управлению и использованию почв для размещения сельскохозяйственных отраслей и объектов многоотраслевой структуры народного хозяйства осуществляется с использованием почвенно-карографических исследований. В настоящее время во всех отраслях независимо от производственного направления при использовании ПР учитываются площади почв с геометрической точностью. Включение форм разнообразия потенциала функционирующих почв в составе ПР является общепринятой установкой в концепции ограниченности земельной территории суши (Зонн, 1983; Залибеков и др., 1988). В создавшейся ситуации ресурсоведческий потенциал почв

<sup>1</sup> Работа выполнена по темам Госзадания: Института геологии ДФИЦ РАН (№ НИОКР АААА-А17-117021310199-9) «Ландшафтно-геохимическое районирование Прикаспийской низменности», ПИБР ДФИЦ РАН (№0172-2019-0014) «Динамика почвенного покрова и биопродуктивности экосистем Северо-Западного Прикаспия и Восточного Кавказа», Лаборатории КИПР ДФИЦ РАН (№ 0172-2019-0002) «Изучение сохранение и воспроизведение биологических ресурсов экосистем Западного Прикаспия»).

(почвогрунтов, почвосмесей) биопродукционного разнообразия остается незамеченным и неучтенными (Залибеков, 1987). Потенциал биопродукционного разнообразия при научно-обоснованной системе использования определяется в качестве фактора воспроизведения той части биомассы сообществ растений, которая воспроизводится в ареалах ПР при их существующих площадях и технологиях использования. Поэтому получение эффекта, возможного при расширении площадей функционирующих почв как составной части ПР, достигается путем увеличения используемой массы биопродукционного потенциала. В отличие от общепринятого пространственного показателя площадей ПР, величина биопродукционного потенциала и возможности его увеличения практически не ограничены. На одной и той же площади определенной разновидности почв растительные сообщества (природные, антропогенные) способны увеличивать биомассу до максимальных величин, свойственных для данной зоны или региона. Дифференциация факторов, определяющих мобилизацию потенциала биопродукционного ресурса, проведена для условий аридных территорий.

Обобщенные сведения по динамике накопления фитомассы различных популяций растений, которые позволяют определить категории почвенного ресурса:

- пространственное (объем фитомассы, получаемый с единицы площади),
- потенциальное (разница в продуктивности по сравнению с показателями популяций возделываемых культур).

Определяющим условием характеристики факторов освоения потенциала продукционного процесса является выявление уровня дифференциации иерархической последовательности. Наиболее высокий уровень – глобальный, где ресурсы дифференцируются картографически и пространственно, включая контуры со своими размерами, формой, границами. На этом уровне ресурсы почвенного покрова изучаются как объект, ограниченный по площади, при строгом соблюдении геометрических очертаний и границ отдельных континентов, регионов, массивов, участков.

Биопродукционные ресурсы имеют свой потенциал, обуславливающий неограниченные возможности повышения продуктивности с единицы площади. Основными условиями формирования высокого потенциала является солнечная энергия, среднегодовая температура и наличие полноценной мелкоземлистой массы на поверхности Земли. Обилие солнечной энергии, используемой растениями в фотосинтетической деятельности, представляет основу создания биопродукционного потенциала в глобальном масштабе (табл. 1).

**Таблица 1.** Факторы формирования биопродукционного потенциала почвенных ресурсов.

Уровень дифференциации	Разнообразие ресурсов		Основные факторы	Направление развития
	пространственные	биопродукционные		
Глобальный	Ограниченные стабильно	Неограниченные по потенциалу	Космические	Геологические
Зональный	Функционирующие в очертаниях контуров	Ограниченные условно	Климатические	Биологические
Региональный	Сезонные миграции веществ	Совершенствованные технолокации	Геологические	Агрономические
Локальный	Ареалы почв	Плодородие почв	Экологические	Фотосинтез растений
Агросфера	Строение почвенного покрова	Размещение отраслей сельского хозяйства	Отрасли сельского, лесного хозяйства	Комбинации свойств освоенных почв
Техносфера	отводы земель	–	индустрия и городское хозяйство	Накопление гумуса и питательных веществ

Глобальный уровень дифференциации элементов, участвующих в биопродукционных процессах, формируется под воздействием космических факторов, электромагнитных полей и внутреннего тепла Земли. Величина воздействия этих факторов определяется гидротермическим градиентом, формирующимся в области контакта с корой выветривания. Как составная часть континента, в регионе различаются ареалы выноса продуктов почвообразования (на повышенных элементах рельефа), область частичной аккумуляции и транзита в центральной части и область конечной аккумуляции в прибрежной полосе западного Прикаспия, гдедерживаются продукты выветривания, участвующие в биопродукционных процессах. Поступающая тепловая энергия расходуется на физико-химические, биологические процессы, связанные с накоплением общей биомассы.

Зональная дифференциация факторов накопления, восстановления потенциала определена границами ареалов почвообразования, способствующих формированию растительного покрова. При условии изменяющегося уровня режима Каспийского моря, продукты выветривания как первоначальная основа продукционных процессов накапливаются в береговой полосе.

Особое значение зональных факторов в дифференциации использования и возобновления запасов связано с влиянием свойств почв внутри почвенных контуров типового подразделения. Они условно ограничены в пространстве и во времени. Условность связана с внутренней неоднородностью зон и зависимостью биоклиматических и геолого-геоморфологических условий: взаимодействие их способствует изменению почвенного покрова в процессе естественноисторического развития. Внутризональные различия в методическом плане определяют классификационный уровень пространственных выделов и их потенциала, формирующегося в эволюционном развитии.

Отличия потенциала ресурсов от содержания общепринятого понятия «урожай возделываемых культур» заключается в том, что продукционные ресурсы включают общую биомассу растительных сообществ, накапливаемую за весь вегетационный период. Составными компонентами их являются:

- надземная фитомасса, включая урожай, растительный опад, мертвую массу, годовой прирост и подстилку;
- подземная фитомасса образуется корневой системой и другими органами, осуществляющими свои функции в разных горизонтах почв; сюда входят метаболиты растительного и животного происхождения.

Ресурсоведческий характер продукционных процессов характеризуется динамикой изменения величины фитомассы (накопление, распад, миграция) в течение всего вегетационного периода растений, тогда как формирование урожая завершается после прохождения фенофазы – созревания (спелости). Биомасса, синтезируемая растениями после уборки урожая в виде опада и разложившейся массы, возвращается в почву и принимает участие в малом биологическом круговороте веществ. Минерализация органических остатков способствует увеличению содержания гумуса и образованию CO<sub>2</sub>, являющегося одним из главных факторов повышения фотосинтетической активности растений.

Исходя из общей динамики почвообразовательных процессов, можно отметить, что неисчерпаемость ресурсов изучаемого явления в полной мере относится к повышению урожая используемых видов угодий независимо от ограниченности размеров функционирующих почв. Актуальность этой проблемы в современных условиях урбанизации и роста численности населения в мире не вызывает сомнений.

### Результаты и их обсуждение

Факторами, обуславливающими условно ограниченный характер продукционных процессов, являются степень увлажнения, сумма атмосферных осадков, испарение с поверхности земли. Константы этих величин изменяются во времени, тогда как условия синтеза биопродукции, ареалы, площади почв сохраняются. Синтезируемая растениями биомасса на единицу площади увеличивается при постоянстве размера контуров функционирующих почв в рамках существующих геометрических очертаний. При оценке зональных признаков ресурса видно, что плодородные почвы занимают небольшие площади с размерами контуров почв типового уровня (500-600 га) – луговые, аллювиально-луговые, лугово-каштановые, а в других зонах на обширных пространствах занимают десятки тысячи гектаров дерново-подзолистые, черноземные, серые лесные почвы. Это явление типично для засушливых и умеренно увлажненных регионов, где изменчивость тепловых условий выступает более влияющим фактором, чем условия увлажнения. Сменяемость условий

формирования потенциала продукции почвенных ресурсов обусловлена климатическими факторами. Изменение его связано с суммой температур  $>10^{\circ}\text{C}$  и значительным превышением соотношения выпадающих осадков над испарением. Для формирования разнообразия потенциала ресурсов у различных типов почв необходимы устойчивость увлажнения и изменчивость тепловых условий (Глазовский, 1982; Добровольский, Никитин, 2000).

Степень увлажнения и обеспеченность теплом являются основными факторами, формирующими зональный уровень дифференциации потенциала ресурсов продукционного направления с сохранением функционирующих почв без изменения размера занимаемых ими площадей. Подтверждением высказанного положения являются характеристики водного и теплового режимов почв, где определяющим условием выступает количество атмосферных осадков. Основным условием развития биопродуктивности почвенных ресурсов при достаточной степени увлажнения является количество осадков, равное или большее испаряемости на единицу площади. При этом создается промывной водный режим, благоприятные условия для естественных или вновь создаваемых популяций растений. Данное ограничение связано с зональными условиями засушливого климатического режима, где годовой коэффициент увлажнения составляет 0.25 и менее, что характерно для пустынных ландшафтов. Дальнейшее уменьшение увлажнения не вносит существенные изменения в ресурсный потенциал почв (Zalibekov, 2004). В этих условиях ограничение ресурсного потенциала (продукционного) почв обуславливается сменой термического режима. Формирующаяся динамика факторов присуща природным зонам пустынных ландшафтов южных регионов Европейской части России, Приуралью, Прибайкалью, Прикаспию (Ковда, Якушевская, 1971; Яруллина, 1983).

В зональных условиях средней степени увлажнения в диапазоне годового коэффициента увлажнения 1.0-0.25 формируется большая разница режима влажности – функционального потенциала почвенных ресурсов в ареале функционирующих почв.

Градиенты тепловых условий зонального уровня на всей территории Земли значительно меньше по сравнению с градиентами увлажнения. Это означает, что условный характер ограниченности увеличения биопродукционного ресурса почв на уровне зональной дифференциации отражает влияние изменений в степени увлажнения и различий, формирующихся в тепловом режиме.

Установленное положение о неограниченности, неисчерпаемости потенциала продукционных ресурсов на ограниченных по размерам площадях почв распространяется и на уровне зональной дифференциации (Grime, 2001).

Региональный уровень дифференциации определяется проведением мониторинга в целях стабильного увеличения продуктивности ресурса на определенной площади почв. Важным условием является выявление на этой площади резервов повышения биомассы, синтезируемой растениями, животными и микроорганизмами, без расширения площадей, путем использования потенциала условий географической среды. Прикладной основой мероприятий регионального уровня является проведение экологического мониторинга, учитывающего условия рельефа микроклимата, воды, органического вещества почвы, связанного с пищевыми цепями и потоком солнечной энергии (Ковалевский, 1974). Поэтому малый биологический круговорот веществ вовлекает в состав живого вещества значительное количество различных химических элементов, необходимых для синтеза органического вещества на единицу площади. В результате взаимодействия формируется малый биологический круговорот и пищевые цепи, способные удерживать в разном количестве и разной форме биофильные элементы и органические вещества. Почвы, формирующиеся в процессе длительной эволюции, отражающие влияние географической среды, становятся устойчивыми образованиями, способными противостоять природным и антропогенным изменениям. Но есть условные пределы этой устойчивости и увеличения биомассы живых организмов. При изменении природных и антропогенных факторов они оказывают сильное влияние на главную составляющую естественноисторической стадии развития наземных экосистем – на разнообразие ресурсов почвенного покрова (Залибеков, Биарсланов, 2016).

В истории развития нашей планеты периодические изменения в условиях географической среды неоднократно повторяются, в отдельных случаях они выходят за рамки оптимальных значений, к которым приспособлены организмы и в которых формируются условия почвообразования. Изучение их роли в формировании потенциала ресурсов, источников и способов их возобновления является основой правильного использования поступающей космической энергии, представляющей

основу жизнеобеспечения живых организмов. В этой связи разработка рационального, локального мониторинга дает возможность определить потенциал биопродукционных ресурсов, дифференцируя ограничивающие факторы. Согласно учению В.В. Докучаева (1951) о единстве и взаимодействии природных факторов, земельную территорию с ограниченной площадью необходимо рассматривать как открытую саморегулирующую, связанную с космосом систему, создающую живое вещество. Главными компонентами земельного участка как источника биопродукционного потенциала, образующего биологически активный поверхностный слой, являются функционирующие площади почв, составными частями которых выступают биосфераные компоненты Земли.

Обобщенная характеристика мониторинга показателей земельных площадей как источника биопродукционных ресурсов дана на основе работ В.А. Ковды (1985), Г.В. Добровольского (2000), В.В. Ковалевского (1974), П. Дювиньо и М. Танг (1968), с использованием результатов исследований Института геологии и Прикаспийского института биологических ресурсов Дагестанского научного центра РАН (табл. 2).

**Таблица 2.** Основные компоненты биопродукционного потенциала и земельной площади.

№	Основные компоненты	Функции компонентов	Элементы биопродукционного потенциала
1	Солнечная энергия и электромагнитные поля	Превращение лучистой энергии солнца, через фотосинтез в биомассу, в энергию органических веществ	Пищевые цепи
2	Биомасса растительного покрова	Преобразование космической энергии	Фотосинтетическая деятельность растений
3	Почвенный покров	Аккумуляция энергии, обеспечивающей растительный покров	Накопление гумуса, ЭМП, водно-тепловой режим
4	Атмосфера	Обеспечение CO <sub>2</sub> для фотосинтеза растений, сохранение теплового эффекта	Тепловой эффект окислов и тонкой пыли
5	Литосфера	Материальная основа почвообразования, источник вещества для образования почв	Источник элементов питания, депо семян и других зародышей, профиль биологически активного слоя

Определяющим показателем рассматриваемого процесса является солнечная энергия, тепловые электромагнитные поля, используемые растениями для синтеза органического вещества (Шлык, 1972). Использование солнечной энергии осуществляется в ограниченных масштабах – 0.2-0.5% всей лучистой энергии. Потенциал биопродукционных ресурсов и возможности его увеличения находятся в прямой зависимости от используемой части солнечной энергии. Одной из главных задач исследований в данной области является выявление взаимосвязей фотосинтеза и процессов почвообразования. Появление фотосинтеза растений и развитие флоры и фауны с образованием общей биомассы привело к формированию биологического круговорота веществ (Ничипорович, 1972). Согласно геохронологической шкале, эти процессы проходили в условиях древнего гидроморфизма, где фотосинтез и образование общей биомассы способствовали формированию современного почвенного покрова и его ресурсного потенциала (Ковда, 1985). Роль космической энергии в формировании фотосинтеза и накоплении общего запаса растительной массы можно оценить для пустынных сообществ Терско-Кумской низменности в многолетней динамике (табл. 3).

Почвообразование в рассматриваемом регионе развивается в условиях полупустынного климата под влиянием комплекса следующих элементов: микро-мезорельефа с равнинной поверхностью,

грунтовых вод разной степени минерализации, циклических изменений, происходящих в уровне водном режиме Каспийского моря. Развитие категорий биопродукционных ресурсов и фотосинтеза растений связано с образованием новых комбинаций в свойствах почв и почвообразующих пород, способствующих аккумуляции элементов минерального питания (ЭМП) под влиянием малого биологического круговорота веществ в системе «организмы ↔ почва». Формируется относительно стабильная фотосинтетическая деятельность с определенной величиной потенциала ресурсов первичной биологической продуктивности, создаваемой естественными фитоценозами. Распределение общего запаса растительной массы изучено на примере пустынных (эфемерово-многолетне-солянковой *Efemeretum-Salsoletum droidis*, эфемерово-камфоросмовой *Efemeretum-Camforosmetum*) растительности и степных (эфемерово-кубанковой *Efemeretum-Cannabietum sativae*) сообществ.

**Таблица 3.** Распределение общего запаса растительной массы пустынных и степных растительных сообществ.

Показатели	Единица измерения	Эфемерово-полынно-многолетне-солянковая ( <i>Efemeretum-Artemisietum-Salsoletum droidis</i> )							Среднее	
		1975	1979	1980	1981	1982	1984	1985		
Фитомасса	ц/га	15.7	14.7	14.0	23.3	18.2	8.6	3.0	13.8	
Земная часть	%	9.0	5.6	8.0	8.2	9.9	5.0	2.4	6.8	
Корневая система	ц/га	114.9	222.8	149.1	264.0	158.4	166.2	124.2	167.0	
	%	82.4	89.1	85.0	90.6	88.0	92.4	93.1	82.0	
Всего	ц/га	160.6	236.5	163.1	207.3	176.6	174.8	137.1	180.8	
	%	98.3	94.7	93.0	98.8	97.9	97.7	95.5	89.6	
Мертвая	ц/га	4.5	12.6	12.2	3.8	3.7	4.0	2.6	6.7	
растительная масса	%	1.7	5.3	6.9	1.2	2.1	2.2	2.1	3.6	
Общий запас	ц/га	165.1	249.1	175.3	291.1	180.3	178.9	127.5	187.5	
<hr/>										
Показатели	Единица измерения	Эфемерово-камфоросмовая ( <i>Efemeretum-Camforosmetum</i> )				Эфемерово-кубанковая ( <i>Efemeretum-Cannabietum sativae</i> )				
		1978	1979	1980	1981	Среднее	1980	1981	1982	Среднее
Фитомасса	ц/га	9.9	18.7	20.5	11.4	16.4	14.0	25.4	41.6	30.9
Земная часть	%	15.1	9.9	9.7	10.8	4.9	9.7	9.0	11.1	5.1
Корневая	ц/га	65.17	167.8	187.4	241.0	259.9	121.4	216.5	185.0	577.6
система	%	78.0	88.2	88.8	82.0	83.8	84.2	76.6	79.4	92.0
Всего	ц/га	661.0	186.5	207.9	194.3	276	135	241.9	195	588
	%	93.1	98.1	98.5	98.4	88.7	93.9	85.6	80.3	97.1
Мертвая	ц/га	4.6	3.7	3.2	3.7	3.8	8.7	14.8	11.7	318.6
растительная	%	6.9	1.9	1.5	2.0	11.3	6.1	14.4	7.1	22.2
масса										15.3
Общий запас	ц/га	666.2	190.1	211.1	328.9	335.8	144.1	282.7	505.8	605.8
										340.8

Пустынные сообщества характеризуются широким распространением, ареалы их занимают более 70% территории региона, где накопление биомассы определяется условиями увлажнения.

Дополнительное увлажнение за счет поверхностных и грунтовых вод не превышает 5-10% территории. Репрезентативность представленных данных определяется иллюстрацией показателей фитомассы в многолетнем аспекте в условиях с большим диапазоном колебаний, свойственных ландшафтам региона.

Определяющими критериями потенциала ресурсов являются следующие факторы: а) полная продуктивность надземной фитомассы; б) максимальная продуктивность подземной фитомассы; в) величина мертвой растительной массы. При такой оценке учитываются функции растительных сообществ как компонентов биосфера, способствующих реализации потенциала почвенных ресурсов.

Роль растительного покрова в мобилизации неиспользуемого ресурса почв раскрывается на примере жизненных циклов пустынных и степных сообществ.

Развитие почвенных процессов при минимальных количествах атмосферных осадков связано с созданием особых комбинаций свойств почв (осенние, весенние синузиальные изменения), способствующих формированию светло-каштановой солонцеватой почвы. Общий запас растительной массы достигает 360 ц/га при значительном колебании по годам (табл. 3). Диапазон колебания величины биомассы в значительном пределе указывает на наличие возможностей освоения потенциала продуктивности, формирующейся за счет ресурсов, образуемых неизученными комбинациями свойств почв. Максимальные показатели накопления надземной и подземной массы отмечены в условиях засушливого 1974 года.

Средние показатели накопления зеленой фитомассы в эфемерово-комфорсмовой (*Efemeretum–Camforosmetum*) ассоциации по сравнению с эфемерово-полынно-солянковой (*Efemeretum–Artemisietum–Salsoretum*) выше в 2 раза. Заметное увеличение мертвой растительной массы характеризует высокую биологическую активность и формирование активного баланса круговорота веществ в условиях интенсивного антропогенного воздействия. К потенциальному почвенным ресурсов включаются процессы накопления органического вещества как главного компонента биопродукционного ресурса почв (Оканенко, 1972).

Степные сообщества растений представлены эфемерово-кубанкой (*Efemeretum–Cannabietum sativae*) и пионерно- песчаной формациями на светло-каштановых легкосуглинистых почвах, солонцеватых в слабой степени (табл. 3). Анализ структуры фитомассы показывает увеличение зеленой массы 24.3-30.5 ц/га по сравнению с эфемерово-камфорсмовой (*Efemeretum–Camforosmetum*) ассоциацией – 36.9-41.6 ц/га. Среди растительных сообществ природных кормовых угодий (преимущественно пастбищных) фитомасса характеризуется средними величинами, что указывает на лимитирующую роль полупустынного климатического режима в их развитии. Преобладающая роль корневой системы в структуре общей фитомассы и их максимальное содержание свидетельствуют о значительном ресурсоведческом потенциале, реализация которого связана с оптимизацией, т.е. улучшением водного режима почв. В условиях аридного климата водный режим выступает в качестве определяющего фактора использования биопродукционного потенциала ресурсов зональных почв. Большое значение имеет также регулирование теплового режима почв, где поступление тепловой энергии солнца в несколько раз превышает установленные нормы, необходимые для осуществления физиологических процессов в организме растений (Фридланд, 1986). Значительные колебания в абсолютных величинах подземной фитомассы с одной стороны и мертвой растительной массы с другой выступают в качестве отличительных признаков биопродукционных ресурсов степных сообществ растений на почвах, солонцеватых в разной степени. В степных сообществах как представителях аридных условий биопродукционные процессы контролируются двумя факторами: недостатком увлажнения и избыточным количеством тепла. Из этого вытекает важный вывод: при определении почвенных ресурсов наряду с площадным методом рекомендуется применять способы выявления биопродукционных ресурсов, связанные с разнообразием комбинаций свойств почв и условий их образования (Фридланд, 1986). Максимальные значения потенциала этой категории почв в Терско-Кумской низменности по данным общего запаса растительной массы составляют для эфемерово-полынной многолетне-солянковой (*Efemeretum–Artemisietum–Salsoretum dendroidis*) ассоциации – 666.2 ц/га, эфемерово-камфорсмовой (*Efemeretum–Camforosmetum*) – 505.8 ц/га. Высокий потенциал продукционных ресурсов отмечается в элювиальном ландшафте, в ареале светло-каштановой солонцеватой почвы под эфемерово-кубанкой (*Efemeretum–Cannabietum sativae*) ассоциацией. В элювиальных ландшафтах сочетаются

процессы выноса легкорастворимых солей из верхних горизонтов почв и образование признаков солонцеватости, что является характерной особенностью, показывающей интенсификацию биопродукционного процесса. По сравнению с почвами аккумулятивного ландшафта зеленая масса растений снижается в незначительных количествах, что является фактором, оказывающим отрицательное влияние на формирование потенциала ресурсов. Проявление фактора, задерживающего реализацию ресурса, свидетельствует о целесообразности дифференциации градаций положительного и условно отрицательного значений. Межсезонные и годовые колебания в ресурсах продуктивности одной и той же площади генетической разности почв связаны с количеством атмосферных осадков и адекватными изменениями, происходящими в запасах гумусовых веществ, ЭМП и доступной форме почвенной влаги. Элювиальные ландшафты расположены в возвышенной части региона, где формирование продукционных ресурсов протекает в условиях отсутствия дополнительного грунтового увлажнения. Продукционно-ресурсный потенциал здесь ограничен отсутствием доступного количества влаги и проявлением процессов засоления и солонцеватости. Управление механизмом формирования продукционных ресурсов элювиальных ландшафтов связано с улучшением водного режима почв. Недостаточное количество осадков в засушливых регионах выступает в качестве определяющего фактора увеличения потенциала продукционных процессов. Возобновление и воспроизводство почвенных ресурсов продукционного направления в отличие от условий общепринятого варианта использования почв, ограниченных в пространстве размерами, характеризуется отсутствием пределов накопления фитомассы при условии применения научно-обоснованной зональной технологии.

### **Выводы**

С накоплением фактического материала о ресурсном потенциале почв установленное положение по определению почвенных ресурсов с характеристикой площадей отдельных генетических разностей выявляет целесообразность использования ресурсов, создаваемых разнообразием комбинаций свойств почв, и условий их образования. Комбинации свойств, создающие ресурсный потенциал и способствующие их возобновлению, широко распространены в регионах Прикаспийской низменности и являются типичными для условий аридных земель.

1. Представлена оценка разнообразия почвенных ресурсов по двум категориям:

– пространственные, официально учитываемые по статистике единиц измерения площадей, с сохранением геометрических очертаний и площадей почвенного контура.

– биопродукционные, образуемые воздействием природных и антропогенных факторов, с созданием определенных комбинаций, сочетаний и качеств свойств почв и условий их образования.

2. Ограниченност земельной территории нашей планеты и современная урбанизация выдвинули необходимость выявления разнообразия почвенных ресурсов, позволяющих использовать неисчерпаемые энергетические запасы биосфера.

Пока установлено, что главными средствами решения этой задачи являются увеличение коэффициента использования солнечной энергии и разнообразия ресурсов почв, образуемых при разных комбинациях их свойств.

3. Дифференциация потенциала биопродукционных ресурсов и сравнительная оценка разнообразия по установленным размерам, границам, ареалам. В энергетическом плане разнообразие позволяет дифференцировать в ранге самостоятельного вида ресурса почв биопродукционный потенциал, который потенциально обладает неограниченными запасами без расширения площадей почв, функционирующих в природе. Биопродукционный потенциал связан с природной зональностью, и его величина имеет условную зависимость от биологических и экологических факторов.

4. По геохронологической шкале биопродукционные процессы формировались в условиях древнего гидроморфного почвообразования, способствующего возникновению фотосинтеза растительного покрова. Ведущая роль фотосинтеза иллюстрируется накоплением общего запаса растительной массы пустынных сообществ Терско-Кумской низменности в многолетней динамике.

5. Потенциальные ресурсы и их развитие в зональных условиях глобального космического потока энергии формируются под влиянием условно ограничивающих местных (локальных) факторов – условий увлажнения и тепловых условий. Константы этих величин, относящихся к единице площади, изменяются во времени. Однако это не препятствует продолжению условий

синтеза и функционированию почв на постоянных по размерам площадях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Глазовский Н.Ф.* 1982. Техногенные потоки вещества в биосфере // Добыча полезных ископаемых. М.: Наука. С. 7-28.
- Добровольский Г.В., Никитин Е.Ф.* 2000. Сохранение почв, как незаменимого компонента биосферы. М.: Наука. 185 с.
- Докучаев В.В.* 1951. К учению о зонах природы. Горизонтальные и вертикальные почвенные зоны. Сочинения. Т. VI. Изд-е АН СССР. С. 171-194.
- Дювиньо П., Танг М.* 1968. Биосфера и место в ней человека. М.: Прогресс. 253 с.
- Залибеков З.Г.* 1987. О проблемах развития почвенной картографии // Почвоведение. № 7. С. 112-118.
- Залибеков З.Г., Биарсланов А.Б.* 2016. О разнообразии почвенных ресурсов и их роли в создании продовольственной безопасности // Аридные экосистемы. Т. 22. № 2. С. 5-11. [Zalibekov Z.G., Biarslanov A.B. 2016. Soil resource diversity and its role in food security preservation // Arid Ecosystems. Vol. 6. No. 2. P. 81-88.]
- Залибеков З.Г., Загидова Р.М., Абдурашидова П.А.* 1988. Ресурсы первичной биологической продуктивности пастбищных экосистем // Проблемы биологической продуктивности дельтовых экосистем. Махачкала. С. 5-16.
- Зонн С.В.* 1983. Процессы опустынивания на различных континентах // Современные проблемы генеза и географии почв. М.: Наука. 83 с.
- Ковальский В.В.* 1974. Геохимическая экология. М.: Наука. 281 с.
- Ковда В.А.* 1985. Биогеохимия почвенного покрова. М.: Наука. 264 с.
- Ковда В.А., Якушевская И.В.* 1971. Биосфера и гумусовая оболочка // Биосфера и ее ресурсы. М.: Наука. С. 131-141.
- Ничипорович А.А.* 1972. Фотосинтез как комплексная проблема // Вестник АН СССР. № 12. С. 69-76.
- Оканенко А.С.* 1972. Интенсивность и продуктивность фотосинтеза // Вестник АН СССР. № 12. С. 90-98.
- Шлык А.А.* 1972. Организация хлорофилла в растениях // Вестник АН СССР. № 12. С. 83-89.
- Фрилланд В.М.* 1986. Проблемы географии генезиса и классификации почв. М.: Наука. 244 с.
- Яруллина Н.А.* 1983. Биологическая продуктивность почв дельты Терека. М.: Наука. 85 с.
- Grime J.P.* 2001. Plant strategies, vegetation process and ecosystem properties. 2<sup>nd</sup> Edition. Chichester, UK: John Wiley and Sons. P. 147.
- Zalibekov Z.G.* 2004. Anthropogenic changes in the Caspian plain soil under conditions of desertification. Michigan, USA: Grand Rapids. P. 77-79.

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 631.4; 630\*91

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЧВ И ИЗМЕНЕНИЯ ЗАПАСОВ ОРГАНИЧЕСКОГО  
УГЛЕРОДА В НИХ КАК РЕЗУЛЬТАТ СВЕДЕНИЯ ЛЕСОВ  
В ПОЛУАРИДНОМ РЕГИОНЕ ЗАГРОСА (ИРАН)

© 2021 г. С. Джариде\*, С. Альванинежад\*, П. Голами\*\*, М.Р. Мирзаи\*, М. Армин\*

\*Университет Ясуджа

Иран, 7575156879, провинция Кохгилуйе и Бойerahмад, г. Ясудж, ул. 11-й Абузар,  
бульвар Бойerahмад, д. 43. E-mail: s.jarideh71@gmail.com, salvaninejad@yu.ac.ir,  
mrm.mirzaei@gmail.com, mohsenarmin2007@gmail.com

\*\*Исламский университет Азад

Иран, провинция Фарс, г. Казерун. E-mail: gholami.parviz@gmail.com

Поступила в редакцию 18.12.2019. После доработки 31.05.2020. Принята к публикации 01.06.2020

В настоящее время рост населения и спрос на сельскохозяйственную продукцию привели к значительным разрушениям естественных экосистем, включая леса и пастбища, и превратили их в сельхозугодия. Территориальное землепользование может провоцировать изменения в химических и физических свойствах почв, которые в свою очередь могут в итоге приводить к деградации. Понимание эффекта, оказываемого изменениями в режимах землепользования на почвенные свойства, очень важно, поскольку помогает оценить устойчивость естественных экосистем. Поэтому в данном исследовании мы сравниваем изменения физико-химических свойств почв, индексе их деградации, фактора эродированности (К-фактора) и запасах органического углерода при трех типах землепользования: в охраняемых лесах, естественных лесах с обычной эксплуатацией (перевыпас и заготовки древесины на растопку) и на возделываемых землях в полуаридных регионах западного Ирана. Почвенные образцы были отобраны в случайному порядке с глубины 0-30 см: по 16, 18 и 18 образцов для каждого типа землепользования – 52 в общей сложности. Во всех образцах были измерены текстура почвы, ее pH, обменный калий, доступный фосфор, общая концентрация азота, органический углерод и его запасы. Мы выяснили, что перевыпас и эксплуатация древостоя в естественных лесах, а также смена лесов на возделываемые земли значительно повысили плотность песка (на 22.3-90.5%) и объемную плотность (6.1-9.16%), а также сильно снизили содержание ила (4.34-13.56%), глины (2.36-13.5%), K (37.68-50.63%), P (15.58-27.42%), N (22.2-55.5%), углерода (22.3-52.4%) и его запасов в почве (22.87-52.3%; при  $P<0.01$ ). Результаты многомерного анализа избыточности показали, что возделываемые земли коррелируют с содержанием песка, уровнем pH и объемной плотностью, а охраняемые леса – с большинством почвенных свойств. Результаты индекса деградации выявили резкое ухудшение качества почвы (-5.5%) на возделываемых землях в сравнении с естественными (-21.5%) и охраняемыми лесами (0.1%). Самый высокий показатель эродированности был обнаружен на возделываемых землях (0.260), а самый низкий – в охраняемых лесах (0.214). В целом, результаты данного исследования показали, что вырубка деревьев на растопку в естественных лесах вместе с перевыпасом, а также смена лесов на возделываемые земли вызвали значительное ухудшение качества почв в полуаридном регионе западного Ирана.

*Ключевые слова:* естественные леса, фактор эродированности почв, запасы органического углерода в почвах, индекс деградации почв, леса Загроса.

DOI: 10.24411/1993-3916-2021-10134

Изменения, вызванные землепользованием, постоянны и повсеместны. В настоящий момент рост населения и спрос на сельскохозяйственную продукцию привели к тому, что такие естественные экосистемы, как леса, начали превращаться в сельхозугодия (Otto et al., 2007; Izquierdo, Grau, 2009). Эти изменения, а также обезлесение, перевыпас, неподходящая сельскохозяйственная и промышленная деятельность считаются основными причинами деградации растительности,

а впоследствии и почвы (UNEP ..., 1997; Khersat et al., 2008). Они меняют качество воды и почвы, биоразнообразия, выбросов метана и снижают всасываемость CO<sub>2</sub>, а потому являются главной причиной деградации земель (Schneider, Pontius, 2001; Tilman et al., 2001). Увеличение плотности парниковых газов (углекислого, метана, оксидов азота, озона), которое спровоцировано использованием ископаемого топлива, изменениями режимов землепользования и обезлесением, вызывает серьезные последствия в глобальном климате и является одной из самых важных проблем на сегодняшний день. Около 34% от общего количества углерода, выбрасываемого в атмосферу, приходится на изменение режимов землепользования, а 66% вырабатываются при сгорании топлива (Lal, 2004). Накопление органического углерода происходит в различных элементах лесных экосистем. Почва – основной источник этих запасов в наземных экосистемах, а ее потенциал всасывать углекислый газ – важное звено в балансе углерода в континентальных масштабах (Murty et al., 2002). Почвенные запасы углерода чувствительны к разным режимам землепользования и видам почв (Tate et al., 2007), поэтому меняются вместе с ними, а также со сменой растительности (Wang et al., 2014; Edmondson et al., 2014).

Учитывая важность запасов органического углерода в почвах таких сложных экосистем, как леса, которые уменьшают выбросы углекислого газа в атмосферу, снижают риски глобального потепления и климатические изменения, необходимо установить точные объемы этих запасов (Mac Dicken, 1997). Многие исследования показали, что изменения режимов землепользования, такие как сведение лесов и запреживание, могут приводить к деградации химических и физических свойств почвы и к деградации земель в целом (Hajabbasi et al., 1997; Doran, 2002; Jreddi, Chaieb, 2010; Materrechera, 2014). Основные опасности таких изменений включают в себя эрозию и загрязнение почв, уменьшение органических веществ и биоразнообразия, уплотнение и засоление почв, заливание и оползни (Xiaohong, Zhenghu, 2009; Cotching, Kidd, 2010). Превращение лесов и естественных пастбищ в сельскохозяйственные земли оказывает особое влияние на свойства почв по двум аспектам (Zucca et al., 2010): 1) их внутренние характеристики – растительность, климат, топографию; 2) внешние факторы – сельское хозяйство, применение удобрений, перевыпас, методы управления (Basaran et al., 2008). Перевыпас, вызываемый домашним скотом, – это еще одна масштабная деятельность человека в полуаридных лесах и землях по всему миру (Manzano, Navar, 2000; Gillson, Hoffman, 2007), которая уже уничтожила эти экосистемы, вызвав снижение плотности растительности и изменение структуры растительных сообществ (Su et al., 2005), уплотнение почв, повысила поверхностный сток и в конце концов привела к потере минерализации (Dakhan, Gifford, 1980; Fleischner, 1994; Costa et al., 2015). Перевыпас также может снижать запасы углерода в почвах пастбищных (Shrestha, Stahla, 2008) и лесных экосистем (Abril et al., 2005). Обезлесение и деградация пастбищ могут ощутимо снизить концентрацию органического углерода, минерализации и качество почвы в целом (Zhao et al., 2009).

За последние 50 лет разнообразие режимов землепользования в Иране расширялось быстрее, чем когда бы то ни было; более того, ожидается, что оно расширится еще больше (Kavian et al., 2014). В последнее время большинство лесов и пашен Ирана было переведено под сельскохозяйственные угодья. Постепенно такие изменения могут привести к многочисленным экологическим проблемам, таким как эрозия и деградация почв, седиментация, опустынивание и заливание (Rezapour, 2014). Около пяти десятилетий назад, в 1962 году, леса Ирана занимали 18 млн. га (Marvi-Mohadjer, 2005), но уменьшились до 12.4 млн. га (Salehi, 2009). Примерно 40% этих лесов находятся в Загросе и считаются полуаридными, покрывая площадь около 5 млн. га, которая включает в себя самые важные лесные экосистемы северо-запада и запада Ирана (Jazirehi, Rostaghi, 2003). Леса Загроса оказывают огромное влияние на водоснабжение, сохранение почв, климатические изменения и экономическое и социальное равновесие Ирана (Sagheb-Talebi et al., 2003). С 1962 г. более чем 1.7 млн. га этих лесов были уничтожены, а исследования показывают, что разросшееся население, низкий уровень развития и высокая зависимость местных сообществ от лесов, служащих средством для их существования, являются ключевыми причинами такого упадка (Ghazanfari et al., 2004).

Перевыпас, вырубка лесов на растопку и обезлесение ради превращения земель в сельскохозяйственные считаются самыми важными факторами разрушения этих лесов (Marvi-Mohadjer, 2005; Yousefifard et al., 2007). Сведение лесов ради возделывания злаковых культур и кормовых растений, садов с грецкими орехами, миндалем и оливами, является самой распространенной человеческой деятельностью в регионе Загроса. Сельскохозяйственные работы в

этих лесах проводятся местными жителями и лесниками ради улучшения качества жизни.

Леса дикого миндаля (*Amygdalus arabica* Oliv.) расположены в Махур Мамассани (Mahoor Mamassani), на окраине полуаридных лесов Загроса. В этой области, как и в других местах Загроса, леса десятилетиями сводятся под сельскохозяйственные угодья, подвергаются перевыпасу и вырубке на растопку. Таким образом, необходим почвенный анализ, чтобы определить, как на свойства и качество почв влияет перевыпас домашнего скота и изменение естественных лесов на хозяйствственные угодья. И хотя результаты перевыпаса в лесах и пастбищах, а также превращения лесов в сельскохозяйственные земли и их влияние на почвенные свойства хорошо известны, сила этого влияния, меняющегося от региона к региону, не определена. Поэтому цель данной работы – изучить изменения почвенных свойств вследствие изменения режимов землепользования в данном полуаридном регионе, а главное – определить изменения в их физико-химических свойствах, запасах органического углерода и индексе деградации почв, вызванные сведением диких миндальных лесов и возделыванием лесных территорий. Это поможет нам лучше понять, какой эффект изменение землепользования оказывает на свойства почв, запасы углерода и индекс деградации в полуаридном регионе диких миндальных лесов Махура на западе Ирана и на схожих территориях.

### Материалы и методы

**Территория исследований.** Работа проводилась в диких миндальных (*Amygdalus arabica* Oliv.) лесах Махура Нур Абада на северо-западе провинции Фарс и частично в Загросе на западе Ирана (координаты: от  $29^{\circ} 56' 46''$  до  $30^{\circ} 0' 43''$  с.ш. и от  $51^{\circ} 23' 02''$  до  $51^{\circ} 25' 13''$  в.д.; рис. 1). Климат здесь полуаридный, средние годовые дождевые осадки составляют 350 мм (за 1995-2015 гг.), выпадая в основном с ноября по апрель, а средняя годовая температура на метеорологической станции Нур Абада достигает  $21.1^{\circ}\text{C}$ . Топография горно-холмистая (высотность колеблется от 1300 до 1350 м н.у.м.), с умеренной зимой и жарким летом. Территория лежит в пограничном регионе Загроса, который относится к третичному периоду, породы представлены известняком.

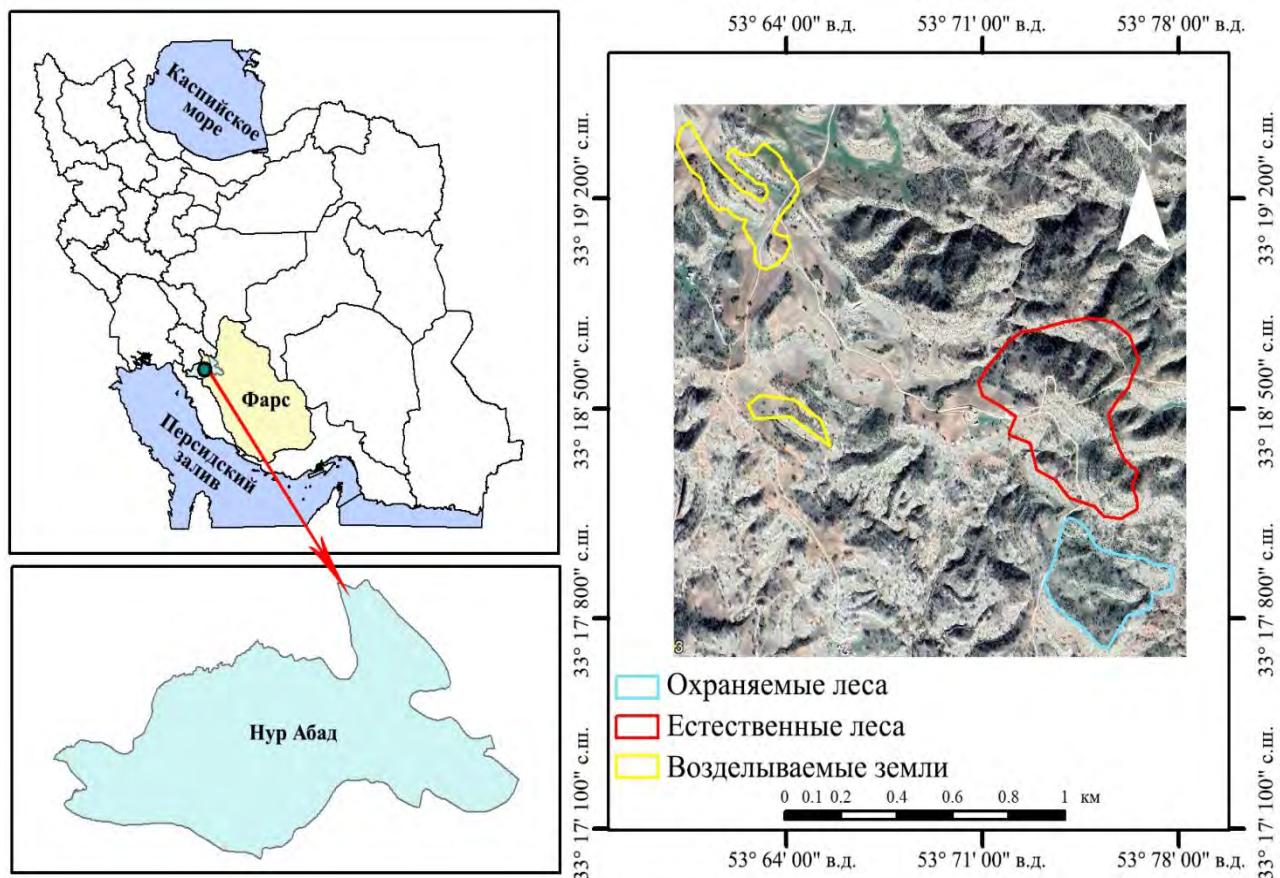


Рис. 1. Карта с местом исследований на территории Ирана.

По основным режимам землепользования мы выделили 3 региона: 1) охраняемые леса (ОЛ), которые занимают почти 30 га и были взяты под охрану 30 лет назад; 2) естественные леса (ЕЛ) с обычным режимом использования, включая вырубку и обрезку деревьев на растопку, а также перевыпас, идущий на протяжении всего года; 3) возделываемые земли (ВЗ), которые 20 лет назад были естественными лесами. В лесах исследуемой территории доминирует дикий миндаль (*Amygdalus arabica* Oliv.), характеристики такого древостоя приведены в таблице 1.

**Таблица 1.** Характеристики древостоя (means±SD) дикого миндаля на исследуемой территории.

Характеристики древостоя	Охраняемые леса	Естественные леса	Возделываемые земли
Плотность (п/га)	195±(52.3)	136.6±(43.9)	20±(24.3)
Площадь основания (м <sup>2</sup> /га)	8.1±(4.17)	5.5±(3.1)	1.8±(2.2)
Площадь кроны (м <sup>2</sup> /га)	1467.4±(526.8)	1091.3±(473.6)	381.4(±445.4)

Соответственно исследованиям, которые велись на 3 разных территориях, в общей сложности за вегетационный период мы зарегистрировали 106 видов растений из 29 семейств, среди которых доминантами выступили *Medicago lupulina* L., *Trachynia distachya* L., *Aegilops kotschy* Boiss., *Linaria arvensis* Desf., *Bromus tectorum* L., *Bongardia chrysogonum* Boiss., *Heteranthelium piliferum* (Banks & Sol.), *Astragalus hamosus* L., *Alyssum linifolium* Steph ex Willd., *Vicia montana* Froel. ex W.D.J. Koch., *Fumaria parviflora* Lam., *Anagallis arvensis* L. Основная культура возделываемых земель – это пшеница (*Triticum* spp.) и ячмень (*Hordeum* spp.), которые выращивают здесь с 1996 года и по сегодняшний день без орошения (полив дождем) и собирают ежегодно в конце периода вегетации. Урожай снимают с использованием ручного инвентаря для сельхозработ (в основном серпа). Кроме того, по крайней мере на протяжении 7 лет до нашего исследования здесь не применялись удобрения (как следует из индивидуальных опросов местных владельцев земель). Каждую осень на этих землях используют лемешный плуг, особенно перед посадкой семян, вскапыванием и переворачиванием земли. После сбора урожая здесь непродолжительно пасут скот.

Мы выбрали 3 разных участка ОЛ, ЕЛ и ВЗ неподалеку друг от друга, чтобы продемонстрировать различия в свойствах их почв, а также разницу в режимах землепользования и управления. Три разных режима обладают схожими топографическими характеристиками: склоны от 5 до 20%, направление северо-восточное, высотный уровень от 1300 до 1350 м н.у.м.

*План эксперимента и сбор проб.* Чтобы изучить количественные характеристики древесных растений, мы выбрали 52 случайных участка площадью 1000 м<sup>2</sup>: 16 в ОЛ и по 18 в ЕЛ и ВЗ. На каждом участке мы подсчитали деревья, определили их количественные характеристики и отобрали случайным образом по 4 почвенные пробы на глубине 0-30 см, а затем смешали их в один для почвенного анализа. Образцы были запечатаны в пластиковые пакеты и доставлены в лабораторию. Для оценки некоторых физических и химических свойств, в частности, текстуры, органического углерода, общего азота (N), объемной плотности, доступного фосфора (P), обменного калия (K) и pH образцы в течение 2-3 дней были подвержены сушке на воздухе, а затем просеяны через сито с ячейками 2 мм, чтобы избавиться от крупных корней и камней (Liu et al., 2014).

Для измерения pH использовали стеклянный электрод, концентрация составила 1:2.5 почвы к воде (Singh et al., 2007). Объемную плотность измеряли по нетронутым образцам гравиметрическим методом, текстуру – буферным гидрометрическим методом, органический углерод – методикой Уолкли и Блэка (Walkley & Black), общий N – модифицированным методом Кхедаля (Kjeldhal), доступный P – методом S.R. Olsen и L.E. Sommers (1982). Воспользовавшись техникой замены ацетата аммония, мы определили обменные основания по работе G.W. Thomas (1982), а K определили атомно-эмиссионной спектроскопией (Page, 1992). Запасы органического углерода в почвах (т/га) вычисляли по следующей формуле:

$$\text{ЗОУ} = \text{ОУ} \cdot \text{Bd} \cdot d,$$

где ЗОУ – это запасы органического углерода (%), Bd – объемная плотность (г/см<sup>3</sup>), d – глубина почвенного образца (см).

Фактор эродированности почв (К-фактор, т·га·ч/га·МДж·мм) рассчитывали по следующей

формуле (Wischmeier, Smith, 1978):

$$100K=2.1\cdot10^4(12-Om)M^{1.14}+3.25(S-2)+2.5(P-3),$$

где K – фактор эродированности почв, Om – органическое вещество (%), S – тип структуры, P – тип проницаемости, M – размер частиц, определенный по уравнению:

$$M=a(a+b),$$

где a – процент частиц размером от 0.002 до 0.1 мм (сумма ила и очень мелких песчинок), b – процент частиц от 0.1 до 2 мм.

*Статистический анализ.* Чтобы сравнить влияние, которое изменение режима землепользования оказывает на свойства почв, мы провели в программе SPSS 21 однофакторный дисперсионный анализ в системе случайно выборки, а затем проверили статистические допущения для параметрического теста. Мы использовали критерий Д.Б. Дункана, чтобы выявить значимые различия при  $p<0.05$ . Чтобы протестировать однородность дисперсий, использовали критерий Х. Левена. Методы многомерного анализа применяли, чтобы измерить групповой отклик физических и химических свойств почв, зависящих от смены режима землепользования. Для этого сначала мы применили детрентный анализ соответствия, чтобы измерить длину градиента, которая во всех случаях (когда градиент менее трех) была получена в результате анализа избыточности (Leps, Smilauer, 2005). Эти анализы мы выполняли в программе CANOCO версии 4.5.

Чтобы подсчитать индекс деградации почв в соответствии с их типами землепользования, от ОЛ до ЕЛ (с перевыпасом и вырубкой) и В3, в качестве первичного демографического индекса принималось, что почвы ЕЛ и В3 имеют аналогичные физические и химические свойства, схожие с почвами ОЛ, которые претерпели различные изменения. Мы сравнили различия между средними величинами каждого свойства почв при каждом режиме землепользования с их величинами в ОЛ и выразили это в качестве процентного соотношения среднего значения для каждого свойства. Затем среднюю этих соотношений для всех свойств мы использовали, чтобы измерить интегральный индекс деградации почв (Islam, Weil, 2000).

## Результаты

*Физико-химические свойства почв.* Общий тренд почвенной структуры после того, как ЕЛ сменились В3, показал значительное уменьшение глины и ила ( $p<0.01$ ) и повышение песка ( $p<0.01$ ; табл. 2). Структура почв в ОЛ и ЕЛ была илисто-глинистой, но в В3 изменилась на глинисто-суглинистую. Дисперсионный анализ показал, что изменение режима землепользования не оказало большого влияния на pH почв ( $P>0.05$ ; табл. 2). В данном исследовании pH варьировал от 7.67 до 7.9 на глубине 0-30 см при различных режимах землепользования. Средний pH для 3 режимов показал, что кислотность значительно возросла в ЕЛ из-за перевыпаса и изменения лесных земель на возделываемые, поэтому самый высокий показатель (7.9) был зарегистрирован в почвах В3, а самый низкий (7.67) – в ОЛ (табл. 2).

Дисперсионный анализ также показал, что обезлесение (сведение деревьев на растопку и влияние перевыпаса) в ЕЛ и после их смены на В3 вызвало сильное увеличение объемной плотности ( $P<0.01$ ; табл. 2) и сильное снижение органического углерода и общего N ( $P<0.001$ ; табл. 2). В среднем плотность на глубине 0-30 см в почвах ЕЛ и В3 была на 6.1 и 9.16% выше, чем в ОЛ, а между собой ЕЛ и В3 различались не сильно ( $P>0.05$ ; табл. 2). Самый высокий уровень органического углерода (2.1%) был зарегистрирован в ОЛ, самый низкий (1.0%) – на В3. В среднем на В3 его уровень был на 52.4 и 38.7% ниже, чем в ОЛ и ЕЛ (табл. 2). В ЕЛ этот показатель составил So 1.6%, т.е. на 22.3% меньше, чем в ОЛ. Общий азот в ЕЛ и В3 был на 22.2 и 55.5% меньше, чем в ЕЛ (табл. 2).

Как показало данное исследование, доступный Р и обменный К в почвах были сильно затронуты землепользованием ( $P<0.001$ ; табл. 2). Наибольшее значение для концентрации фосфора (14.4 мг/кг) было зарегистрировано в ОЛ, наименьшее (10.5 мг/кг) – на В3. В среднем доступный Р на В3 был на 27.2 и 14.0% ниже, чем в ЕЛ и ОЛ (табл. 2). В ЕЛ его показатель составил 19.1 мг/кг, что на 15.6% меньше, чем в ОЛ.

*Запасы органического углерода.* Смена режимов землепользования сильно повлияло на запасы углерода в почве ( $P<0.001$ ; табл. 2). Изменения в объемах запасов оказались похожи на изменения в количестве самого углерода ( $P<0.001$ ; табл. 2). Запасы в ЕЛ и В3 уменьшились на 22.9 и 52.3% по сравнению с ОЛ (табл. 2).

**Таблица 2.** Результаты однофакторного дисперсионного анализа (средние значения  $\pm$  стандартное отклонение, mean $\pm$ SD) почвенных свойств в охраняемых и естественных лесах и на возделываемых землях.

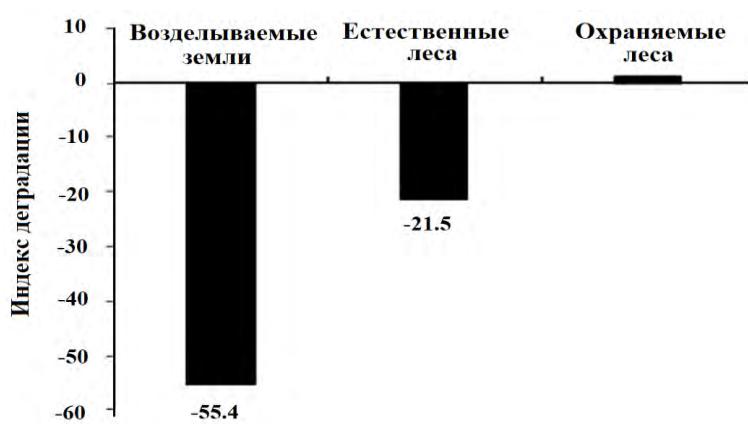
Свойства почв	Охраняемые леса	Естественные леса	Возделываемые земли	F	P
Песок (%)	13 $\pm$ (7.3)b*	15.9 $\pm$ (5.3)b	24.8 $\pm$ (10)a	10.66	0.000
Ил (%)	45.12 $\pm$ (3.8)a	43.16 $\pm$ (4.3)a	39 $\pm$ (5.1)b	8.42	0.001
Глина (%)	41.87 $\pm$ (4.9)a	40.88 $\pm$ (4.1)a	36.22 $\pm$ (6.7)b	5.44	0.007
pH	7.67 $\pm$ (0.28)a	7.8 $\pm$ (0.34)a	7.9 $\pm$ (0.37)a	2.46	0.09
K (мг/кг)	336.7 $\pm$ (88.8)a	209.8 $\pm$ (41.2)b	166.2 $\pm$ (27.8)c	45.8	0.000
P (мг/кг)	14.44 $\pm$ (1.7)a	12.19 $\pm$ (2.6)b	10.48 $\pm$ (1.2)c	17.1	0.000
Объемная плотность ( $\text{г}/\text{см}^3$ )	1.31 $\pm$ (0.06)b	1.39 $\pm$ (0.04)a	1.44 $\pm$ (0.06)a	7.27	0.005
N (%)	0.18 $\pm$ (0.03)a	0.14 $\pm$ (0.05)b	0.08 $\pm$ (0.02)c	14.3	0.000
Органический углерод (%)	2.06 $\pm$ (0.43)a	1.6 $\pm$ (0.63)b	0.98 $\pm$ (0.18)c	23.72	0.000
Запасы органического углерода (т/га)	81.1 $\pm$ (17.7)a	66.2 $\pm$ (26.5)b	42.3 $\pm$ (7.4)c	18.3	0.000
K-фактор	0.214 $\pm$ (0.021)b	0.227 $\pm$ (0.019)b	0.260 $\pm$ (0.022)a	20.85	0.000
Текстура	илисто-глинистая	илисто-глинистая	глинисто-суглинистая		

**Примечание к таблице 2:** \* – буквы в каждом ряду указывают на уровень значимости между различными режимами землепользования для каждого свойства почв: a – p<0.05, b – p<0.01, p<0.001.

*Индекс деградации почвы (ИДП).* Результаты изменений индекса показали, что самое высокое его значение было на ВЗ (-55.4) и ЕЛ (-21.5), а меньше всего этот тренд (1) проявился в ОЛ (рис. 2).

*Фактор эродированности почв (K-фактор).* Смена режима землепользования также сильно затронула K-фактор ( $P<0.001$ ; табл. 2). Его самое высокое значение было зарегистрировано на ВЗ (0.260), а наименьшее – в ОЛ (0.214), что незначительно отличается от ЕЛ (0.227).

*Многомерный анализ.* Результаты анализа избыточности показали, что свойства почв были сильно затронуты сменой режима землепользования ( $f=0.69$ ,  $p=0.001$ ; рис. 3): содержание песка, объемная плотность и pH – на ВЗ; общий N, органический углерод, запасы углерода, фосфор, калий, количество глины и ила – в ОЛ (рис. 3).

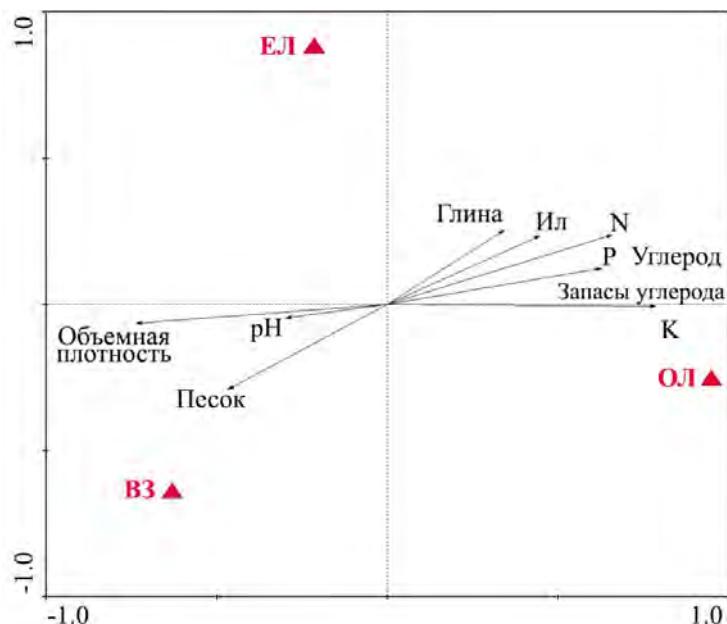


**Рис. 2.** Влияние смены режима землепользования на индекс деградации почв в полуаридных лесах Ирана. Условные обозначения: по оси ОY отражен Индекс деградации почвы (ИДП).

### Обсуждение

В ОЛ и ЕЛ наличие растительного покрова на протяжении длительного периода защищает почву от эрозии. И напротив, почвы ВЗ покрыты растительностью только в короткие промежутки времени,

покровов разреженный, а поверхность почвы остается полностью обнаженной после сбора урожая (Zhao et al., 2005), тем самым провоцируя и увеличивая эрозию (табл. 2) и потери глинистых и илистых частиц вниз по профилю (Khresat et al., 2008). Поэтому необходимо заметить, что ЕЛ и особенно ОЛ из-за наличия у них древесных крон, подстилки, биомассы и корней могут значительно повысить устойчивость почвы к поверхностной эрозии (Solt et al., 1993). W. Bewketa и L. Stroosnijder (2003), а также M. Martinez Mena с соавторами (2008) сообщали в своих исследованиях, что после смены ЕЛ на ВЗ количество глины и ила снизилось, а песка – возросло.



**Рис. 3.** Двойная диаграмма почвенных свойств и изменений землепользования в соответствии с анализом избыточности; треугольниками обозначены типы землепользования: ОЛ – охраняемые леса, ЕЛ – естественные леса, ВЗ – возделываемые земли.

Причина изменений pH почвы может быть связана со снижением органических веществ из-за перевыпаса в ЕЛ и распашки ВЗ. Кроме того, в ОЛ и ЕЛ лесной полог и травянистая растительность могут повышать проницаемость почвы водой через корродированные участки, уменьшая влияние дождя, что в итоге приведет к насыщению почвы и последующему снижению уровня pH. На основе результатов данного исследования S. Khresat с соавторами (2008) и A. Kavian с соавторами (2014) обнаружили, что переход ЕЛ в ВЗ и сады может привести к повышению значений pH. Можно ожидать, что сведение деревьев и перевыпас в ЕЛ, а также мероприятия по обработке почвы снизят количество органического углерода, ослабят текстуру и разрушат структуру почвы. В итоге пористость почвы уменьшится, а объемная плотность увеличится, что согласуется с результатами работ I. Celik (2005) и T. Yuksek с соавторами (2010), которые писали, что обезлесение и обработка почвы приводят к повышению объемной плотности. Это повышение – один из ключевых показателей деградации естественных экосистем, вызванный перевыпасом, который может влиять и на остальные свойства почв, включая ее проницаемость и накопление воды, а в конце концов мешать росту растительности (Rubio, Bochet, 1998).

Запрет на выпас домашнего скота может снизить объемную плотность, т.к. движение животных по территории снизится, а растительный покров увеличится (Su et al., 2005), что соответствует результатам данного исследования о снижении объемной плотности в ОЛ за 30-летний период. Органический углерод в почве оказывает множество эффектов на большинство химических и физических почвенных свойств, что в итоге приводит к снижению эрозии. Ключевым фактором ускоренного падения уровня углерода и азота является возделывание земель – по двум причинам: 1) разрушение поверхностного слоя и увеличение температуры почвы в результате ускорившегося процесса разложения органического углерода и повышенной минерализации азота, 2) усиление эрозии и последующие потери в органических веществах и азоте снижают уровень углерода

и азота в почве (Yousefifard et al., 2007; Khresat et al., 2008; Kavian et al., 2014). Такие наблюдения соответствуют выводам и некоторых других исследований (Celik, 2005; Chibsa, Taa, 2009).

Помимо прочего, снижение органического углерода, его запасов в почве и общего N в ЕЛ может зависеть от перевыпаса и рубки деревьев на растопку, вызванных снижением растительности. Выпас скота меняет круговорот азота в пастбищных экосистемах, что может приводить к прекращению его накопления в почве (Pineiro et al., 2006). Выпас влияет на подвижность минерального азота в почвах: чем он сильнее, тем выше количество азота и ниже его обменные свойства и подвижность (Yang et al., 2013). В ОЛ помимо того, что состояние лесного полога было лучше (табл. 1), наличие растительности усиливало гумусовый слой объемы углеродных запасов в почве (Hill et al., 2003). По этому вопросу проводилось множество исследований, чтобы показать, что изменения режима землепользования оказывают значительный эффект на запасы углерода, и, как следует из этих работ, самый большой объем запасов был зарегистрирован в ОЛ (Sadegh et al., 2007; Le Quere et al., 2009). В целом, контролированный выпас скота и защита лесов и пастбищ, а также проведение различных мероприятий по укреплению и улучшению растительности, является одной из причин увеличения органического углерода, его запасов и общего N и впоследствии – улучшения почвы (Wu et al., 2009; Jiddi, Chaieb, 2010; Materechera, 2014).

В данной работе изменения уровня доступного P и обменного K соответствуют результатам, полученным другими исследователями (Gharmakher, Maramaei 2011; Boroumand et al., 2014). Q. Meng с соавторами (2008) указали, что на территориях ВЗ вследствие эрозии потери доступного фосфора максимальны. Поскольку концентрации P в мелкозернистых частицах почвы выше, чем в крупных, то чем меньше количество таких частиц, тем выше потери фосфора (Salardini, 1995). Поглощение сельскохозяйственными культурами доступного P и его исчезновение после сбора урожая – это еще один фактор снижения концентраций фосфора в почвах на ВЗ (Yang et al., 2013). Причиной, по которой P содержится в почвах ОЛ, является положительное влияние листового опада и плотный растительный покров, которые влияют на то, накапливается фосфор и поверхностном слое или нет. Чаще всего уровень доступного P выше в тех почвах, где больше органических веществ (Yousefifard et al., 2007). Таким образом, несмотря на то, что условия в ОЛ и так благоприятные, именно увеличение количества растительных останков играет главную роль в повышении уровня доступного P на таких территориях, потому что разлагающийся гумус постепенно выпускает P в почву (Navidi et al., 2009). Выводы о повышении уровня доступного P в ОЛ схожи с результатами, полученными S. Wang с соавторами (2011).

Более того, учитывая, что основная часть доступного фосфора зависит от наличия органических веществ, в почвах ЕЛ его содержится больше, чем в ВЗ, т.к. ЕЛ насыщены углеродом сильнее. В соответствии с результатами данной работы, M. Yousefifard с соавторами (2007) сообщили, что количество доступного фосфора в ВЗ ниже, чем в ЕЛ. Содержание K было на 50.6 и 20.8% ниже в ВЗ, чем в ОЛ и ЕЛ (табл. 2). Помимо прочего, его содержание в почвах ЕЛ оказалось на 37.7% ниже, чем в ОЛ (табл. 2). Снижение K в почвах ВЗ может быть связано с возделыванием земель, сбором урожая, последующим смывом K и его недоступностью. Кроме того, полное устранение растительных останков с поверхности почвы и удаление калия сельхозкультурами снижает его концентрацию в почве. Тот факт, что в ОЛ накопление K гораздо выше, можно объяснить тем, что в ОЛ его биоцикл проходит полный оборот: деревья поглощают его из глубины почвы и накапливают в своей биомассе, после чего разложение листового опада возвращает K в поверхностный слой (Graham, O'Geen, 2010; Rezapour, 2014). Снижение P и K в ЕЛ по сравнению с ОЛ может быть связано с деградацией леса, перевыпасом и снижением количества растительности вследствие выщелачивания (Yousefifard et al., 2008).

Индекс деградации на ВЗ оказался самым высоким, указывая на сильное истощение почв по сравнению с ЕЛ и ОЛ. Результаты данного исследования подчеркивают влияние выпаса домашнего скота на леса, а возделывание земель – на усиление почвенной деградации, а также демонстрируют, что охрана лесов снижает уровень деградации. Наши результаты также согласуются с выводами, которые сделали K.R. Islam с R.R. Weil (2000) и M. Lemenih с соавторами (2004).

Результаты многофакторного анализа избыточности показали, что обезлесение увеличило количество песка, объемную плотность и pH. Также было выявлено, что защита ЕЛ от деградации и перевыпаса является эффективной мерой по восстановлению нарушенных лесов и пастбищ, т.к. приводит к восстановлению растительности и улучшению почвенных свойств в различных

экосистемах (Pei et al., 2008; Wu et al., 2009; Li et al., 2014).

### Выводы

В данном исследовании мы рассмотрели различия между многими физико-химическими свойствами почв, индексом деградации почв, фактором их эродированности (К-фактор) и запасами органического углерода при разных режимах землепользования в полуаридных лесах Загроса на западе Ирана. Перевыпас и вырубка деревьев на растопку в естественных лесах, а также многолетнее возделывание местных земель оказали значительный отрицательный эффект на качество почв, что выражается в сильном снижении ( $P<0.01$ ) концентраций К, доступного Р, общего N, органического углерода и его запасов в почве, количества ила и глины и в сильном повышении ( $P<0.01$ ) объемной плотности, количества песка и уровня pH. И напротив, почвы в зоне охраняемых лесов, защищенные растительностью от перевыпаса и других факторов деградации, за более чем 30-летний период получили максимальное количество органических веществ и улучшили свои продуктивные свойства и физическое состояние. В итоге из-за снижения в охраняемых лесах поверхностного стока и эрозии индекс деградации имеет минимальное значение в сравнении с естественными лесами и возделываемыми землями. На ВЗ большая часть оцененных химических свойств (концентрации K, P, общего N, органического углерода и его запасы) показала более значительное снижение ( $P<0.01$ ), чем в ЕЛ и ОЛ. Более того, потери органического углерода, повышение объемной плотности, количества песка, фактора эродированности и сильное увеличение pH стали основными проблемами на тех территориях, которые на протяжении длительного периода подвергались постоянной обработке (Martinez-Mena et al., 2008; Rezapour, 2014). В данном исследовании количество углерода в почвах ВЗ было на 22.3 и 52.4% ниже, чем в ЕЛ и ОЛ (табл. 2). А поскольку связь между углеродом и структурой почв является двусторонней, снижение углерода вредит структуре и повышает почвенную эрозию. Более того, разрушение структуры почвы приводит к потерям углерода (Van Veen, Kuikman, 1990).

**Благодарности.** Авторы хотели бы выразить свою глубочайшую признательность Иранскому университету Ясуджа за финансовую поддержку и помощь.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Abrial A., Barttfelda P., Bucherb E.H. 2005. The effect of fire and overgrazing disturbs on soil carbon balance in the Dry Chaco forest // Forest Ecology and Management. No. 206. P. 399-405.
- Basaran M., Erkul G., Tercan A.E., Anga C.M.R. 2008. The effects of land use changes on some soil properties in Indagı Mountain Pass Cankırı, Turkey // Environmental Monitoring and Assessment. No. 136. P. 101-119.
- Bewketa W., Stroosnijder L. 2003. Effects of agro ecological land use succession on soil properties in Chemoga watershed, Blue Nile basin, Ethiopia // Geoderma. No. 111. P. 85-98.
- Borumand M.G., Hajarsepanlu M., Bahmanyar A. 2014. The Effect of Land use Change on Some of the Physical and Chemical Properties of Soil (Case Study: Semeskande Area of Sari) // Journal of Watershed Management Research. No. 5 (9). P. 78-94. (in Persian)
- Celik I. 2005. Land-use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey // Soil and Tillage Research. No. 83. P. 270-277.
- Chibsa T., Taa A. 2009. Assessment of soil organic matter under four land use systems in Bale Highlands, Southeast Ethiopia. A. Soil organic matter contents in four land use systems: forestland, grassland, fallow land and cultivated land // World Applied Science Journal. No. 6 (9). P. 1231-1246.
- Costa C., Papatheodorou EM., Monokrousos N., Stamou GP. 2015. Spatial variability of soil organic C, inorganic N and extractable P in a Mediterranean grazed area // Land Degradation and Development. No. 26. P. 103-109.
- Cotching W.E., Kidd D.B. 2010. Soil quality evaluation and the interaction with land use and soil order in Tasmania, Australia // Agriculture, Ecosystems and Environment. No. 137. P. 358-366.
- Dakhah M., Gifford GF. 1980. Influence of vegetation, rock cover and trampling on infiltration rates and sediment production // Journal of the American Water Resources Association. No. 16 (6). P. 979-986.
- Doran J.W. 2002. Soil health and global sustainability, translating science into practice // Agricultural Ecosystems and Environment. No. 88. P. 119-127.
- Edmondson J.L., Davies Z.G., McCormack S.A., Gaston K.J., Leake J.R. 2014. Land cover effects on soil organic carbon stocks in an European city // Science of the Total Environment. No. 472. P. 444-453.
- Fleischner T.L. 1994. Ecological costs of livestock grazing in western North America // Conservation Biology. No. 8 (3). P. 629-644.
- Gillson L., Hoffman M.T. 2007. Rangeland ecology in a changing world // Science. No. 315. P. 53-54.

- Ghazanfari H., Namiranian M., Sobhan H., Mohajer R.M.* 2004. Traditional forest management and its application to encourage public participation for sustainable forest management in the northern Zagros mountain of Kurdistan province, Iran // Scandinavian Journal of Forest Science. No. 19 (4). P. 65-71.
- Graham R.C., O'Geen A.T.* 2010. Soil mineralogy trends in California landscapes // Geoderma. No. 154. P. 418-437.
- Hajabbsi M.A., Jalalian A., Karimzadeh H.R.* 1997. Deforestation effects on soil physical and chemical properties, Lordegan, Iran // Plant and Soil. No. 190. P. 301-308. (in Persian)
- Hill M.J., Braaten R., McKeon G.M.* 2003. A scenario calculator for effect of grazing land management on carbon stocks in Australian rangelands // Journal of Environmental Modeling and Software. No. 7 (18). P. 627-644.
- Islam K.R., Weil R.R.* 2000. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh // Agricultural, Ecosystems and Environment. No. 79. P. 9-16.
- Izquierdo A.E., Grau R.H.* 2009. Agriculture adjustment, land-use transition and protected areas in Northwestern Argentina // Journal of Environmental Management. No. 90. P. 858-865.
- Jazirehi MH., Rostaghi E.M.* 2003. Silviculture in Zagros. Tehran: University of Tehran Press. 560 p. (in Persian)
- Jeddi K., Chaieb M.* 2010. Changes in soil properties and vegetation following livestock grazing exclusion in degraded arid environments of South Tunisia // Journal of Flora. No. 205. P. 184-189.
- Kavian A., Azmoodeh A., Solaimani K.* 2014. Deforestation effects on soil properties, runoff and erosion in northern Iran // Arabian Journal of Geoscience. No. 7. P. 1941-1950.
- Khresat S., Al-Bakri J., Al-Tahhan R.* 2008. Impact of land use/cover change on soil properties in the Mediterranean region of Northwestern Jordan // Land Degradation and Development. No. 19. P. 397-407.
- Lal R.* 2004. Soil carbon sequestration impact on global climate change and food security // Science. No. 304. P. 1623-1627.
- Lemenih M., Olsson M., Karlstun E.* 2004. Comparison of soil attributes under *Cupressus lusitanica* and *Eucalyptus saligna* established on abandoned farmlands with continuously cropped farmlands and natural forest in Ethiopia // Forest Ecology and Management. No. 195. P. 57-67.
- Leps J., Smilauer P.* 2005. Multivariate Analysis of Ecological Data using CANOCO. UK: Cambridge University Press. 269 p.
- Le Quere C., Raupach M.R., Canadell J.G., Marland G., Bopp L., Ciais P.* 2009. Trends in the sources and sinks of carbon dioxide // Nature Geoscience. No. 2. P. 831-836.
- Li Q., Zhou D., Jin Y., Wang M., Song Y., Li G.* 2014. Effects of fencing on vegetation and soil restoration in a degraded alkaline grassland in northeast China // Journal of Arid Land. No. 6 (4). P. 478-487.
- Liu MY., Chang QR., Qi YB., Liu J., Chen T.* 2014. Aggregation and soil organic carbon fractions under different land uses on the tableland of the Loess Plateau of China // Catena. No. 115. P. 19-28.
- MacDicken KG.* 1997. A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects. USA: Winrock International Institute for Agricultural Development Forest Carbon Monitoring Program. 91 p.
- Manzano MG., Navar J.* 2000. Processes of desertification by goats overgrazing in the Tamaulipan-thornscrub (*matorral*) in north-Eastern Mexico // Journal of Arid Environments. No. 44 (1). P. 1-17.
- Martinez-Mena M., Lopez J., Almagro M., Boix-Fayos V., Albaladejo J.* 2008. Effect of water erosion and cultivation on the soil carbon stock in a semiarid area of south-east Spain // Soil and Tillage Research. No. 99. P. 119-129.
- Marvie-Mohadjer M.M.R.* 2005. Silviculture. Tehran: University of Tehran Press. 387 p. (in Persian)
- Materechera SA.* 2014. Influence of agricultural land use and management practices on selected soil properties of a semi-arid savanna environment in South Africa // Journal of Arid Environment. No. 102. P. 98-103.
- Meng Q., Fu B., Tang X., Ren H.* 2008. Effect of land use on phosphorus loss in the hilly area of the Loess Plateau, China // Environmental Monitoring and Assessment. No. 139. P. 195-204.
- Murty D., Kirschbaum M.F., McMurtie R.E., McGilvray H.* 2002. Does conversion of forest to agricultural land change soil carbon and nitrogen? A review of the literature // Global Change Biology. No. 8. P. 105-123.
- Navidi M.N., Sarmadian F., Mahmoodi Sh.* 2009. Studying the effects of land use change on soil physical and chemical quality indicators of surface horizons in rangelands of eastern Qazvin province // Journal of Range and Watershed Management. No. 62 (2). P. 299-310. (in Persian)
- Gharmakher N.H., Maramaei M.* 2011. Effects of land use changes on soil properties (Case Study: the Kechik catchment) // Journal of Soil Management and Sustainable. No. 1 (2). P. 81-96.
- Olsen S.R., Sommers L.E.* 1982. Phosphorus // Methods of Soil Analysis / Eds. A.L. Page, R.H. Miller, D.R. Keeney. Part ASA-SSSA. Madison. P. 403-430.
- Otto R., Krusi B.O., Kienast F.* 2007. Degradation of an arid coastal landscape in relation to land use change in Southern Tenerife (Canary Island) // Journal of Arid Environment. No. 70. P. 527-539.
- Page A.L.* 1992. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, USA: ASA and SSSA publishers. 321 p.
- Pei S.F., Fu H., Wan C.G.* 2008. Changes in soil properties and vegetation following exclosure and grazing in degraded Alxa desert steppe of Inner Mongolia, China // Agriculture, Ecosystem and Environment. No. 124 (1). P. 33-39.
- Piñeiro G., Paruelo J.M., Oesterheld M.* 2006. Potential long-term impacts of livestock introduction on carbon and nitrogen cycling in grasslands of Southern South America // Global Change Biology. No. 12. P. 1267-1284.

- Rezapour S.* 2014. Response of some soil attributes to different land use types in calcareous soils with Mediterranean type climate in north-west of Iran // Environmental Earth Sciences. No. 71. P. 2199-2210.
- Rubio R.W., Bochet E.* 1998. Desertification indicators as diagnosis criteria for desertification risk assessment in Europe // Journal of Arid Environment. No. 39 (2). P. 113-120.
- Sadegh H.R., Vargah G.B., Safaian N.* 2007. Comparison between effects of open grazing and manual harvesting of cultivated summer rangelands of Northern Iran on infiltration, runoff and sediment yield // Land Degradation and Development. No. 18. P. 608-620.
- Sagheb-Talebi K.H., Sajedi T., Yazdian F.* 2004. Forests of Iran. Technical Publication No. 339. Tehran: Research Institute of Forests and Rangelands. 28 p. (in Persian)
- Salardini A.A.* 1995. Soil Fertility. Tehran: The University of Tehran Press. 428 p. (in Persian)
- Salehi A.* 2009. Livelihood Dependency and Management on Semiarid Oak forests (the case of southern Zagros, Iran). PhD Thesis. Uppsala, Sweden: Swedish University of Agricultural Science. No. 33. P. 21.
- Schneider L.C., Pontius R.G.* 2001. Modeling land-use change in the Ipswich watershed, Massachusetts, USA // Agricultural Ecosystems and Environment. No. 85. P. 83-94.
- Shrestha G., Stahla P.D.* 2008. Carbon accumulation and storage in semi-arid sagebrush steppe: effects of long-term grazing exclusion // Agricultural Ecosystems and Environment. No. 125. P. 173-181.
- Singh R.S., Tripathi N., Singh S.K.* 2007. Impact of degradation on nitrogen transformation in a forest ecosystem of India // Environmental Monitoring Assessment. No. 125. P. 165-173.
- Stolt M.H., Baker J.C., Simpson T.W.* 1993. Soil-landscape relationships in Virginia: II. Reconstruction analysis and soil genesis // Soil Science of American Journal. No. 57. P. 422-428.
- Su Y.Z., Li Y.L., Cui J.Y.* 2005. Influences of continuous grazing and livestock exclusion on soil properties in a degraded sandy grassland, Inner Mongolia, Northern China // Catena. No. 59 (3). P. 267-278.
- Tate K.R., Ross D.J., Saggar S., Hedley C.B., Dando J., Singh B.K., Lambie S.M.* 2007. Methane uptake in soils from *Pinus radiata* plantations, a reverting shrub land and adjacent pastures: Effects of land use change, and soil texture, water and mineral nitrogen // Soil Biology and Biochemistry. No. 39. P. 1437-1449.
- Thomas G.W.* 1982. Exchangeable cations // Methods of Soil Analysis / Eds. A.L. Page, R.H. Miller, D.R. Keeney. Part. ASA-SSSA. Madison. P. 159-166.
- Tilman D., Fargione J., Wolff B., d'Antonio C., Dobson A., Howarth R., Schindler D., Schlesinger W., Simberloff D., Swackhamer D.* 2001. Forecasting agriculturally driven environmental change // Science. No. 292. P. 281-284.
- UNEP 1993-94. 1997. Environmental Data Report, Cited in TERI Report No. 97/ED/52.
- Van veen J.A., Kuikman P.J.* 1990. Soil Structure aspects of decomposition of organic matter by microorganisms // Biochemistry. No. 11. P. 213-233.
- Wang S., Wilkes A., Zhang Z., Chang X., Lang R., Wang Y., Niu H.* 2011. Management and land use change effects on soil carbon in northern China's grasslands: a synthesis // Agriculture, Ecosystems and Environment. No. 142. P. 329-340.
- Wang H., Guan D., Zhang R., Chen Y., Hu Y., Xiao L.* 2014. Soil aggregates and organic carbon affected by the land use change from rice paddy to vegetable field // Ecological Engineering. No. 70. P. 206-211.
- Wischmeier W.H., Smith B.D.* 1978. Prediction rainfall erosion losses. A Guide for Conservation Planning Agriculture // Department of Agriculture Handbook. No. 58. 537 p.
- Wu G.L., Du G.Z., Liu Z.H., Thirgood S.* 2009. Effect of fencing and grazing on a Kobresia-dominated meadow in the Qinghai-Tibetan Plateau // Plant and Soil. No. 319 (1-2). P. 115-126.
- Xiaohon Ch., Zhenghu D.* 2009. Changes in soil physical and chemical properties during reversal of desertification in Yanchi County of Ningxia Hui Autonomous region, China // Environmental Geology. No. 57. P. 975-985.
- Yang J., Liu J., Hu X., Li X., Wang Y., Li H.* 2013. Changes of soil organic carbon, nitrogen and phosphorus concentrations under different land uses in marshes of Sanjiang Plain // Acta Ecologica Sinica. No. 33. P. 332-337.
- Yousefifard M., Khademi H., Jalalian A.* 2007. Decline in soil quality as a result of land use change in Cheshmeh Ali region, Chaharmahal Bakhtiari Province // Journal of Agriculture Science and Natural Resource. No. 14 (1). P. 28-38. (in Persian)
- Yuksek T., Kurdoglu O., Yuksek F.* 2010. The effects of land use changes and management types on surface soil properties in Kafkasor protected area in Artvin, Turkey // Land Degradation and Development. No. 21. P. 582-590.
- Zahedi G.H.* 1998. Relation between Vegetation and Characteristics in a Mixed Hard Wood Stand. Ghent University, Belgium: Academic Press. 319 p.
- Zhao W.Z., Xiao H.L., Liu Z.M., Li J.* 2005. Soil degradation and restoration as affected by land use change in the semiarid Bashang area, northern China // Catena. No. 59. P. 173-186.
- Zhao Y., Xu X., Darilek J.L., Huang B., Sun W., Shi X.* 2009. Spatial variability assessment of soil nutrients in an intense agricultural area, a case study of Rugao County in Yangtze River Delta Region China // Environmental Geology. No. 57. P. 1089-1102.
- Zucca C., Canu A., Previtali F.* 2010. Soil degradation by land use change in an agro pastoral area in Sardinia (Italy) // Catena. No. 83. P. 46-54.

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 574.4:574.23

ФИТОМАССА И ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА И АЗОТА В КОНТРАСТНЫХ ПО ПРОДУКТИВНОСТИ НАГОРНЫХ ДУБРАВАХ ЮЖНОЙ ЛЕСОСТЕПИ<sup>1</sup>

© 2021 г. Н.Ф. Каплина, Н.Ю. Кулакова

Институт лесоведения РАН

Россия, 143030, Московская обл., с. Успенское, ул. Советская, д. 21

E-mail: kaplina@inbox.ru, nkulakova@mail.ru

Поступила в редакцию 18.05.2020. После доработки 20.08.2020. Принята к публикации 01.09.2020

Изучено современное состояние нагорных дубрав солонцового и снытево-осокового типов в Теллермановском лесу. Фитомасса древостоев оценена по модельным деревьям с учетом типов их развития (по оригинальной классификации). Определены содержание и запасы углерода и азота в фитомассе, подстилке и почве. Установлено, что фитомасса дубрав ниже, чем до периода усыхания дуба (в 1970-х – начале 1980-х гг.) в аналогичных насаждениях. Масса листового опада и подстилки соответствует прежним величинам за счет развития нижних древесных ярусов. Изученные дубравы наиболее различаются по запасам углерода и азота в фитомассе, значительно меньше – по их запасам в почве, ёмкости и скорости ежегодного круговорота. Содержание углерода, азота и неструктурных углеводов в органах дуба в этих дубравах сходно.

**Ключевые слова:** фитомасса, листовой опад, подстилка, запасы углерода и азота в экосистеме, ёмкость и скорость биологического круговорота, типы развития дерева, восстановление продуктивности дубрав.

**DOI:** 10.24411/1993-3916-2021-10135

Экологическая роль лесов многогранна, на южной границе лесостепи в первую очередь важна их водорегулирующая функция. Уровень грунтовых вод в нагорных дубравах Теллермановского лесного массива понижается (Экосистемы ..., 2004). Исследования с середины 1940-х гг. показали, что периодические засухи и отчуждение листьев насекомыми снижают устойчивость дубрав (Дубравы ..., 1975; Состояние ..., 1989; Экосистемы ..., 2004; Рубцов, Уткина, 2008).

В солонцовых дубравах засоление почв приводит к увеличению их физиологической сухости, здесь почти ежегодно наблюдается недостаток влаги (Состояние ..., 1989; Кулакова, 2018). Преградой для распространения этих дубрав является изменение химизма засоления почв с сульфатно-кальциевого на содовое. Продуктивность этих дубрав также ограничивается очень низкой обеспеченностью почв калием и фосфором (Кулакова, 2018).

Снытево-осоковые дубравы – одни из наиболее продуктивных, сохраняют наибольшее количество осадков, поскольку поверхностный сток в них почти отсутствует. Однако они периодически испытывают недостаток влаги, снижающий физиологическую активность, в частности прирост (Состояние ..., 1989). Продуктивные нагорные дубравы существуют здесь на южной границе естественного распространения (Экосистемы ..., 2004).

В условиях изменения климата и сдвига границ природных зон эти экосистемы находятся в зоне риска. Цель статьи – изучение современного состояния двух контрастных по продуктивности типов нагорных дубрав. Задачи исследования – оценка и анализ показателей фитомассы и запасов С и N в фитоценозе и почве, сравнение их с величинами аналогичных экосистем до периода массового усыхания дуба в 1970-х – начале 1980-х гг.

<sup>1</sup> Работа выполнена по теме Госзадания № НИОКТР АААА-А19-119053090075-4 «Факторы и механизмы устойчивости естественных и искусственных лесных биогеоценозов лесостепной зоны и аридных регионов Европейской России в условиях природно-антропогенных трансформаций».

### Материалы и методы

Исследования проводились на постоянных пробных площадях (далее – пр. пл.) Теллермановского опытного лесничества (ТОЛ) Института лесоведения РАН в Воронежской области.

*Солонцовая дубрава* (кв. 29, пр. пл. 1, площадь 0.5 га, координаты  $51^{\circ} 20' 17''$  с.ш.,  $41^{\circ} 58' 49''$  в.д.) расположена в начале склона коренного берега реки Хопер, на высоте около 140 м н.у.м. БС, вблизи солонцовой поляны. Сформирована на лесосеке дубом черешчатым ранней феноформы<sup>2</sup>, в основном порослевого происхождения. Состав древостоя – 10Д, его таксационные показатели приведены в таблице 1. Подлесок состоит в основном из кленов (татарского и полевого), бересклета бородавчатого и терна. Почва солонцовой дубравы под древостоем V класса бонитета – серая лесная метаморфическая осололедяная (Классификация ..., 2004). С глубины 50 см отмечено слабое сульфатно-кальциевое засоление. Сумма солей не превышала 0.37%<sup>3</sup> от веса почвы. Ближе к поляне бонитет древостоя падает до Va класса, а сумма солей увеличивается до 1.2% от веса почвы (Кулакова, 2018). При оценке высоты стволов дуба с учетом усохших вершин бонитет выше на 0.5 класса.

**Таблица 1.** Характеристики древостоев.

Тип дубравы	A	H	B	D <sub>1.3</sub>	Dcr	N	G	M	P
Солонцовая	120	13.8	V-Va	23.7	4.0	174	7.7	52	0.4
Сытево-осоковая	80	27.4	I	31.4	7.0	360	27.9	336	0.8

**Примечания к таблице 1:** A – возраст, лет; H – высота, м; B – класс бонитета; D – средний диаметр, см; Dcr – средний диаметр кроны, м; N – число стволов, шт./га; G – сумма площадей сечений, м<sup>2</sup>/га; M – запас стволов в коре, м<sup>3</sup>/га; P – полнота.

*Сытево-осоковая дубрава* (кв. 6, пр. пл. 4, площадь 0.1 га,  $51^{\circ} 20' 53''$  с.ш.,  $41^{\circ} 58' 35''$  в.д.) находится на плакоре, на высоте около 160 м н.у.м. БС. Создана преимущественно посевом дуба черешчатого поздней феноформы<sup>2</sup>. Состав первого яруса – 10Д+Я, является вариантом опыта с низовыми рубками ухода в пределах естественного отпада. Нижние древесные ярусы сложены в основном кленами (остролистным и полевым) и ильмом. Разрез, заложенный в насаждении, вскрыл серую лесную почву с погребенным гумусовым горизонтом, совмещенным с гумусово-элювиальным горизонтом (Классификация ..., 2004). Почвенный профиль свободен от легкорастворимых солей.

В середине августа 2013 г. на каждой пробной площади срублены по три модельных дерева дуба различных типов развития. Использовали оригинальную классификацию типов развития деревьев дуба по: 1) признакам развития кроны (Каплина, Селочник, 2009, 2015); 2) по числу слоев сосудов ранней древесины ствола (РД; Каплина, 2019). Раскидистый тип (Р-тип) – с наиболее развитой кроной, образует преимущественно 3 ряда сосудов РД. Зонтиковидный тип (З-тип) – без утраченных нижних крупных ветвей, чаще формирует 2 ряда сосудов РД. Узкокронный тип (У-тип) – без или с небольшим числом первичных ветвей с заменившими их водяными побегами, формирует преимущественно 1 ряд сосудов РД.

Учитывали отдельно ветви первичной<sup>4</sup> и вторичной кроны<sup>4</sup> и водяные побеги<sup>5</sup>. Ветви условно подразделяли на облиственные (толщиной до 1 см) и скелетные. Отбирали навески облиственных ветвей для определения соотношения листьев и древесной части (далее – тонкие ветви) и содержания абсолютно сухого вещества фракций фитомассы. Измеряли объем ядра и заболони стволов по 1-метровым отрезкам в солонцовой и по 2-метровым – в сырьево-осоковой дубраве, для того, чтобы количество отрезков каждого ствола было примерно одинаковым (т.к. высота ствола в солонцовой дубраве в 2 раза меньше, чем в сырьево осоковой). Определяли содержание фитомассы в единице объема и доли в ней коры (луба и корки), заболони и ядра на различной высоте ствола. Оценку фитомассы древостоя на 1 га рассчитывали пропорционально площадям сечения стволов в коре (на

<sup>2</sup> Ранняя и поздняя феноформы – фенологические формы, различающиеся по срокам наступления фенофаз.

<sup>3</sup> Сумма легкорастворимых солей рассчитывалась по концентрации ионов, переходящих в водную вытяжку.

<sup>4</sup> Первичная и вторичная крона различаются по происхождению. Первичная – формируется одновременно с ростом ствола, вторичная – развивается из водяных побегов.

<sup>5</sup> Водяные побеги – побеги образовавшиеся из спящих почек.

высоте 1.3 м) по типам развития деревьев.

Фитомассу листьев древостоя также определяли по опаду для оценки вклада молодых поколений дуба и прочих древесных пород. Опад учитывался в 2011-2014 гг. на площадках размером 0.5x0.5 м<sup>2</sup>: в солонцовой дубраве в 3-4-кратной повторности, в сытево-осоковой в 8-9-кратной. Учитывали потери на гетеротрофное дыхание опада при длительном хранении в размере 26% (Каплина, Жиренко, 2012).

Влияние на фитомассу типа дубравы и типа развития дерева оценивали с помощью двухфакторного дисперсионного анализа на уровне значимости  $\alpha=0.05$ . После знака  $\pm$  указаны доверительные интервалы на том же уровне значимости.

Для наблюдения за суточной динамикой сахаров в солонцовой дубраве выбрано по три дерева Р- и У-типов. Образцы тонких ветвей отбирали в течение суток в 6, 10, 14, 18 и 22 часа и фиксировали в сушильном шкафу при температуре 75°C. Растворимые углеводы определяли фотометрическим методом с пикриновой кислотой (Практикум ..., 2001).

В каждом экотопе было заложено по одному почвенному разрезу и трем скважинам. Почвенные образцы отбирали в 4-кратной повторности с глубин 0-5, 5-15, 15-25 ... 95-105 см. Образцы подстилки собирали с площадок 20x20 см<sup>2</sup> и высушивали до абсолютно сухого состояния. Измерение массы подстилки проводили до начала листопада, в середине августа, в 2011-2013 годах в 4-6-кратных повторностях.

Концентрацию С и N в подстилке, в растительных и почвенных образцах определяли на автоматическом анализаторе элементного состава Mario MICRO (Elementar, Германия).

### Результаты и их обсуждение

Высота дуба в солонцовом древостое в 2 раза ниже, чем в сытево-осоковом, число деревьев в 2 раза меньше, сумма площадей сечений – почти в 3 раза, а запас стволов – в 6.5 раз (табл. 1). Диаметр ствола на высоте 1.3 м и диаметр поперечного сечения кроны в солонцовой дубраве ниже чем в сытево-осоковой у деревьев Р-типа в среднем в 2.1 раза, З- и У-типов – в 1.6 раза (Каплина, Селочник, 2015).

*Фитомасса модельных деревьев.* Фитомасса деревьев дуба в солонцовой дубраве существенно ниже, чем в сытево-осоковой (табл. 2): стволов – в 5.5 раз, скелета крон – в 3.2 раза (независимо от типа развития дерева), облиственных ветвей – в 1.2-2.7 раза, листьев – в 0.8-2.0 раза (большие различия у деревьев лучшего развития кроны).

**Таблица 2.** Надземная фитомасса модельных деревьев по фракциям, кг.

Тип развития кроны	Крона			Ствол				Надземная часть
	Листья	Тонкие ветви	Скелет кроны	Луб	Заболонь	Ядро	Корка	
Солонцовая дубрава								
Р-тип	6.0	5.7	60	5.7	25	112	19	234
З-тип	5.0	4.6	28	5.5	21	61	10	136
У-тип	5.3	4.6	9.1	3.6	17	45	6	91
Сытево-осоковая дубрава								
Р-тип	12.2	19.4	195	34	178	620	45	1103
З-тип	7.6	14.4	89	32	164	365	31	703
У-тип	4.1	7.6	29	15	72	251	30	409

Фитомасса деревьев (в среднем для двух дубрав) Р-типа больше, чем З-типа и Р-типа чем У-типа соответственно: стволов – в 1.5 и 2.5 раза, скелетных ветвей – в 2.2 и 6.7 раза. Меньшие различия между типами развития деревьев наблюдаются по фитомассе метаболитически активных тканей и органов, особенно в низкопродуктивном древостое. Так, фитомасса луба и заболони ствола у Р- и З-типа сходна в обоих древостоях и больше, чем У-типа в солонцовой дубраве в 1.5 раза, в сытево-осоковой – в 2.4 раза. Фитомасса облиственных ветвей у деревьев Р-типа больше, чем З-типа в солонцовом и сытево-осоковом древостоях, соответственно, в 1.2 и 1.4 раза; Р-типа, чем У-типа, –

в 1.2 и 2.7 раза.

Согласно данным многочисленных исследований и моделям на их основе (Shvidenko et al., 2008), в фитомассе менее продуктивных древостоев доли кроны и корней выше. Доля кроны в надземной фитомассе дерева в солонцовом насаждении выше, чем в снитеово-осоковом, составляя, соответственно, 21-31 и 10-21% (большие значения у деревьев лучшего развития кроны). Доля облиственных ветвей в фитомассе крон дуба увеличивается от деревьев Р-типа (15% в обоих насаждениях) и З-типа (26% в солонцовой и 20% в снитеово-осоковой дубравах) к У-типу (50% в солонцовой и 30% в снитеово-осоковой дубравах).

Потери облиственных ветвей в неблагоприятные годы компенсируются развитием замещающих и водяных побегов (Рубцов, Уткина, 2008). В благоприятные годы вклад водяных побегов в фитомассу облиственных ветвей в снитеово-осоковом древостое составлял у деревьев Р-, З- и У-типа 25, 35 и 65% соответственно (Каплина, Селочник, 2009). В солонцовой дубраве из части водяных побегов деревьев З- и У-типа развились вторичные ветви, формирующие в среднем 35% фитомассы облиственных ветвей. В снитеово-осоковых дубравах вторичные ветви развивались лишь после массового усыхания дуба (Ильюшенко, Романовский, 2000). После засух 2009-2010 гг. суммарный вклад водяных побегов и вторичных ветвей (и их роль в восстановлении крон дуба) возрос: в солонцовой дубраве – в среднем до 80%, в снитеово-осоковой – до 55%, независимо от типа развития дерева.

Доля листьев в фитомассе облиственных ветвей была значимо выше в солонцовой дубраве – 52%, чем в снитеово-осоковой – 36%, и не зависела от развития дерева.

*Фитомасса древостоев и запасы в ней углерода (C) и азота (N).* Фитомасса древостоя солонцовой дубравы меньше чем снитеово-осоковой (табл. 3): стволов и надземной части – примерно в 8 и 7 раз, древесины ветвей – почти в 5, листьев – более чем в 2 раза. До массового усыхания дуба надземная фитомасса была значительно больше: солонцовых древостоев в возрасте 74 и 184 лет – 69 и 77 т/га (в 2 и 2.2 раза), снитеово-осоковых 80 лет – 330 т/га (в 1.3 раза; Дубравы ..., 1975). Вклад деревьев Р-типа в обоих древостоях сходен (большие значения в солонцовой дубраве): стволов – 40-53% (луба – 34-42%, заболони – 35-43%), надземной фитомассы – 42-54%, облиственных ветвей – 41%. По этому признаку долговременное состояние дубрав можно считать сходным (Каплина, Селочник, 2015).

**Таблица 3.** Фитомасса первого яруса дубрав и запасы в ней С и N.

Тип дубравы	Крона			Ствол				Надземная часть
	Листья	Тонкие ветви	Скелет кроны	Луб	Заболонь	Ядро	Корка	
Фитомасса, т/га								
Солонцовая	1.2	1.1	7.4	1.1	4.6	16.4	2.7	34.5
Снитеово-осоковая	2.7	4.7	34.8	9.4	48.4	137	11.8	249
Запас углерода, т/га								
Солонцовая	0.5	0.5	3.1	0.4	2.0	6.9	1.1	14.5
Снитеово-осоковая	1	2	15	4	20	58	5	105
Запас азота, кг/га								
Солонцовая	26	9	30	8	13	–	–	86
Снитеово-осоковая	54	39	143	72	132	–	–	440

Фитомасса корней до массового усыхания дуба составляла в солонцовых древостоях в возрасте 74 и 184 лет 76 и 54% величины надземной фитомассы, в снитеово-осоковых 60 и 80 лет – 34 и 25% (Дубравы ..., 1975). Мы приняли её равной 39% в солонцовой дубраве и 33% в снитеово-осоковой, по табличным данным для модальных лесостепных дубрав (Shvidenko et al., 2008). Соотношение тонких и скелетных корней приняли равным соотношению тонких и скелетных ветвей. Расчетные величины фитомассы корней солонцового и снитеово-осокового древостоев равны соответственно – 13.4 и 82 т/га, общая фитомасса – 48 и 331 т/га.

Содержание С в органах и тканях дуба не различалось по типам дубрав и типам развития кроны, составив в среднем: в листьях – 42.6%, тонких ветвях – 45.3%, корнях – 44%, лубе – 40.7%, стволе –

42.1%. Содержание N в тканях и органах дуба также не обнаружило зависимости от указанных факторов, составив: в листьях 2.2%, тонких первичных и вторичных ветвях – 0.94%, тонких корнях – 0.81%, лубе – 0.76%, скелетных корнях – 0.40%, заболони – 0.28%. В водяных побегах содержание N значительно ниже, чем в тонких первичных и вторичных ветвях: в солонцовой дубраве – 0.72%, в сытево-осоковой 0.83%. Очевидно, это связано с ограниченным снабжением пасокой<sup>6</sup> водяных побегов, не соединенных с сосудами ранней древесины ствола, как показано на примере вяза приземистого (Беспалов, 2001). Можно заключить, что первичные и вторичные ветви имеют преимущество перед водяными побегами и развитие последних не является причиной истощения кроны.

Запасы C и N в надземной фитомассе древостоев приведены в таблице 3. Запасы в корнях C составили в солонцовой дубраве 6 т/га, в сытево-осоковой – 36 т/га, а N – 61 и 365 кг/га соответственно. Распределение C по органам и тканям сходно с распределением фитомассы, а N отличается большими запасами в листьях, лубе, тонких ветвях и корнях.

*Содержание неструктурных углеводов (NSC) в фитомассе.* Содержание сахаров в фитомассе изученных насаждений выше, чем в дубравах Западной Европы и Америки при сходном содержании суммы NSC (Каплина, Кулакова, 2015). Это говорит о более активном метаболизме в наших дубравах, имеющем адаптационный характер. В солонцовой дубраве содержание NSC было немного выше, чем в сытево-осоковой, что может объясняться завершением в ней прироста древесины к середине августа. Также в ней наблюдались признаки адаптации к засоленности почвы: содержание дисахаров (транспортной формы NSC) в листьях и тонких ветвях было примерно в 2 раза выше, чем в сытево-осоковой.

Поскольку усыхают в основном деревья У- и затем З-типа развития, основной причиной этого можно считать углеводное голодание. Сахаров в листьях дуба тем больше, чем лучше развиты деревья (Дубравы ..., 1975). Только у деревьев Р-типа наблюдался осенний максимум содержания крахмала в лубе и заболони ствола в обоих насаждениях и сахаров в лубе в сытево-осоковой дубраве. У деревьев З- и У-типа в обоих насаждениях после листопада снизилось содержание NSC в лубе и заболони (Каплина, Кулакова, 2015). В суточной динамике (середина августа, опушка солонцовой дубравы) в фитомассе тонких ветвей деревьев Р-типа по сравнению с У-типом обнаружено значительно большее содержание дисахаров (в среднем соответственно 2.1 и 0.7%) и суммы сахаров (6.4 и 5.2%). Наибольшие различия по сумме сахаров зафиксированы в утренние и вечерние часы.

*Масса листового опада и подстилки.* Максимум листового опада в сытево-осоковых дубравах (в 1950-х гг.) составлял 4.7 т/га, а минимум (в период массового усыхания дуба) – 1.3 т/га (Экосистемы ..., 2004). До периода массового усыхания опад листьев в 220-летних дубравах был равен: в солонцовой – 1.7 т/га, в сытево-осоковой – 2.9 т/га (Дубравы ..., 1975). В настоящее время масса опада листьев изученных дубрав (табл. 4), а, следовательно, и коррелирующая с ней ёмкость годичного биологического круговорота, достигли уровня 1950-х гг. Листовой опад в солонцовой дубраве в среднем в 1.5 раз ниже, чем в сытево-осоковой. Отчуждение листьев насекомыми в обоих древостоев фоновое (около 20%).

Общий опад листьев подроста и подлеска до массового усыхания дуба находился в старовозрастных дубравах различного типа в пределах 0.5 т/га (Дубравы ..., 1975). В настоящее время опад листьев прочих древесных пород в солонцовой дубраве достиг прежнего уровня, а в сытево-осоковой превысил его, в основном за счет клена остролистного (табл. 4). Фитомасса листьев дуба в солонцовой дубраве, оцененная по модельным деревьям (табл. 3), составила 53% от массы, учтенной по опаду (табл. 4). Следовательно, в опаде дуба доля молодых поколений составляет не менее трети или около 0.7 т/га (при случайной ошибке ±10%), что обусловлено изреженностью материнского полога. Таким образом, опад листьев нижних древесных ярусов формирует в солонцовой дубраве около половины листового опада, в сытево-осоковой – около третьей части (табл. 4). Фитомасса травяного яруса невысока – около 0.2-0.3 т/га (Дубравы ..., 1975).

В старовозрастных солонцовой и сытево-осоковой дубравах запас подстилки (конец июля) составлял соответственно 10.2 и 13.6 т/га (Дубравы ..., 1975). Эти величины соответственно в 1.4 и 1.2 раза ниже, чем измеренные нами (табл. 4). Запасы подстилки в солонцовой дубраве в 1.2 раза ниже, чем в сытево-осоковой. В начале 2000-х гг. был сделан вывод о том, что подстилка в нагорных

<sup>6</sup> Пасока – восходящий ток воды и растворенных в ней минеральных и органических веществ.

дубравах не достигла прежнего уровня после падения продуктивности в 1970-х гг. (Экосистемы ..., 2004). Согласно нашим данным, к настоящему времени запасы подстилки полностью восстановились.

**Таблица 4.** Масса опада листьев и запасы подстилок без ветвей (т/га); опадо-подстилочный коэффициент (ОПК) в различные годы.

Показатель	Тип дубравы	Породы	2011	2012	2013	2014	Среднее
Опад	Солонцовая	Дуб	2.4±0.5	1.2±0.2	2.3±0.4	2.1±0.2	2.0
		Прочие	0.6±0.1	0.5±0.2	0.6±0.3	0.5±0.3	0.5
		Всего	3.0±0.5	1.7±0.3	2.9±0.4	2.6±0.4	2.5
	Снытево-осоковая	Дуб	2.9±0.6	1.7±0.2	2.4±0.2	3.0±0.2	2.5
		Прочие	1.7±0.5	0.9±0.1	0.9±0.1	1.2±0.2	1.2
		Всего	4.6±0.2	2.7±0.2	3.3±0.3	4.2±0.3	3.7
Подстилка	Солонцовая	Всего	13.4±0.9	15.2±1.9	13.1±2.1	–	13.9
	Снытево-осоковая	Всего	16.1±3.0	17.9±0.9	16.7±1.0	–	16.9
ОПК	Солонцовая	Всего	4.5	8.9	4.6	–	5.5
	Снытево-осоковая	Всего	3.5	6.7	5.0	–	4.6

Средние значения опадо-подстилочного коэффициента (ОПК) в обеих дубравах оказались больше 4 (табл. 4). При этом в солонцовой дубраве он в 1.2 раза выше, чем в снытево-осоковой, что говорит о меньшей скорости разложения опада в солонцовой дубраве. До массового усыхания дуба ОПК в солонцовой и в снытево-осоковой дубравах были того же порядка, что и в настоящее время, – 6.0 и 4.7 соответственно (Дубравы ..., 1975).

*Запас солей в почве.* Засоление почв солонцовой дубравы приводит к возрастанию роли верхних незасоленных горизонтов в снабжении растений водой. По данным И.Н. Елагина и В.Н. Мины (1953), в 50-сантиметровом слое почвы находится от 87% (в высокобонитетной дубраве) до 95% (в солонцовой дубраве) поглощающих корней. Под древостоем V класса бонитета запас солей в этой толще составлял 5.4 т/га, в метровой – 16.7 т/га, Va класса – 9.6 и 123.9 т/га соответственно. Увеличение запаса легкорастворимых солей в верхнем полуметровом слое с доступной влагой на 4 т/га, из которых основную массу (от 68 до 87%) составляют сульфаты кальция, приводит к снижению бонитета на 0.5 класса.

*Запасы С и N в почве.* Запасы С в засоленных почвах под древостоями V-Va классов бонитета меньше, чем в серых лесных под древостоем I класса (табл. 5), их соотношение – 1.2 в полуметровой толще почвы (112.0±6.6 и 131.5±5.7 т/га соответственно) и 1.4 – в метровой (136.5±6.9 и 170.1±6.0 т/га). Такое же соотношение свойственно и запасам N в почвах этих дубрав (7.13±0.62 и 8.95±0.48 т/га в полуметровой и 9.69±0.59 и 12.80±0.71 т/га в метровой). В надземной фитомассе древостоев соотношение запасов С существенно выше – около 7, запасов N – около 5, а в корнях соотношение запасов и С и N – 6. Запасы гумуса формировались дольше, чем существуют современные фитоценозы. Вероятное долговременное уменьшение продуктивности склоновых фитоценозов, связывают с развитием овражно-балочной сети, понижающей уровень грунтовых вод (Экосистемы ..., 2004). Накоплению органических остатков в засоленных почвах способствует меньшая продолжительность жизни тонких корней, связанная с более частым наступлением неблагоприятных почвенных условий. Слой почвы 45-55 см, соответствующий резкому увеличению содержания водорастворимых солей, содержит в солонцовой дубраве не меньше углерода (15.0±1.6 и 13.6±1.4 т/га соответственно) и азота (1.0±0.33 и 0.92±0.15 т/га), чем в снытево-осоковой. Это связано, вероятно, с развитием на этой глубине корней в весенний период, когда почва промачивается и граница солей опускается, и их отмиранием осенью, когда соли подтягиваются к поверхности при иссушении почвы.

Суммарный запас органического С в метровом слое почвы, подстилке и фитомассе древостоя

(включая корни) в солонцовой дубраве был в 2 раза ниже, чем в снытево-осоковой (162 и 317 т/га соответственно), а N – в 1.3 раза ниже (10.0 и 13.4 т/га). При этом в фитомассе древостоя (включая корни) в солонцовой дубраве находится 13% С от общего запаса, а в снытево-осоковой – 44%. Запасы N в фитомассе существенно ниже, чем в почве – в солонцовой дубраве они составляют без учета ядра и корки – 1.4% (с учетом – 2.0%), а в снытево-осоковой – 5.7% (8.5%) от общих запасов.

Таким образом, контрастные почвенные условия изученных дубрав определяют существенные отличия в запасах C и N в фитомассе, а также в распределении их между почвой и фитомассой. При этом емкость ежегодного круговорота и скорость разложения подстилки различаются гораздо меньше.

### Выводы

1. Неспецифические адаптации дубрав к неблагоприятным факторам направлены на увеличение доли листьев в фитомассе. С ослаблением развития дерева повышается доля облиственных ветвей в фитомассе крон (с 15 до 30-50%). В солонцовом древостое выше доля крон в надземной фитомассе в 1.7 раза и листьев в фитомассе облиственных ветвей в 1.4 раза, чем в снытево-осоковом. Увеличилась фитомасса листьев нижних древесных ярусов.

2. Водяные побеги играют важную роль в восстановлении крон дуба, достигая (со вторичными ветвями) 80% фитомассы облиственных ветвей в солонцовой дубраве и 55% – в снытево-осоковой. Они ограничены в водопотреблении и снабжении азотом по сравнению с первичными и вторичными ветвями и не могут быть причиной истощения кроны.

3. Фитомасса изученных древостоев ниже показателей аналогичных насаждений до периода усыхания дуба в 2 раза в солонцовой дубраве и в 1.3 в снытево-осоковой. В то же время масса листового опада соответствует прежним величинам за счет развития молодых поколений дуба в солонцовой дубраве и клена остролистного в снытево-осоковой. Благодаря этому, запасы подстилки полностью восстановились.

4. Наибольшие различия между изученными контрастными по условиям произрастания дубравами выявлены по фитомассе, запасам в ней C (в 7 раз) и N (более чем в 4 раза). Почвенные запасы C и N в экосистемах различаются значительно меньше (в 1.4 раза). Емкость и скорость ежегодного биологического круговорота в солонцовой дубраве лишь в 1.4 и 1.2 раза ниже, чем в снытево-осоковой. Содержание в органах и тканях C, N и NSC (показателей активности метаболизма) в этих дубравах сходно.

*Благодарности.* Авторы благодарны сотрудникам ИЛАН РАН и работникам Теллермановского опытного лесничества, принимавшим участие в полевых работах.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Беспалов В.П. 2001. Водяные побеги и их роль в онтогенезе вяза приземистого // Лесные стационарные исследования: методы, результаты, перспективы. Материалы совещания. Тула: Гриф и КО. С. 465-467.
- Дубравы лесостепи в биогеоценотическом освещении. 1975 / Ред. А.А. Молчанов. М.: Наука. 374 с.
- Елагин И.Н., Мина В.Н. 1953. Строение корневых систем дуба на темно-серых лесных почвах и солонцах // Труды Института леса АН СССР. Т. 12. С. 151-170.
- Ильюшенко А.Ф., Романовский М.Г. 2000. Формирование вторичной кроны дуба и ее роль в динамике состояния древостоев // Лесоведение. № 3. С. 65-72.
- Каплина Н.Ф. 2019. Влияние развития кроны на радиальный прирост ранней и поздней древесины ствола дуба черешчатого // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия «Лес. Экология. Природопользование». № 2 (42). С. 17-25.
- Каплина Н.Ф., Селочник Н.Н. 2009. Морфология крон и состояние дуба черешчатого в средневозрастных насаждениях лесостепи // Лесоведение. № 3. С. 32-42.
- Каплина Н.Ф., Селочник Н.Н. 2015. Текущее и долговременное состояние дуба черешчатого в трех контрастных типах леса южной лесостепи // Лесоведение. № 3. С. 191-201.
- Каплина Н.Ф., Жиренко Н.Г. 2012. Динамика фитомассы листьев, состояния и развития крон деревьев нагорной дубравы юго-восточной лесостепи в неблагоприятных условиях последнего десятилетия // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия «Лес. Экология. Природопользование». № 2. С. 3-11.
- Каплина Н.Ф., Кулакова Н.Ю. 2015. Содержание неструктурных углеводов в органах дуба черешчатого в условиях южной лесостепи Европейской части России // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия «Лес. Экология. Природопользование». № 4 (28). С. 84-97.

- Классификация и диагностика почв России. 2004 / Ред. Л.Л. Шишов. Смоленск: Ойкумена. 342 с.
- Кулакова Н.Ю. 2018. Почвенные условия на границе ареала дуба черешчатого (*Quercus robur L.*) в южной лесостепи европейской части России // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия «Лес. Экология. Природопользование». № 3 (39). С. 16-29.
- Практикум по агрохимии. 2001 / Ред. В.Г. Минеев. М.: МГУ. 688 с.
- Рубцов В.В., Уткина И.А. 2008. Адаптационные реакции дуба на дефолиацию. М.: Институт лесоведения. 302 с.
- Состояние дубрав лесостепи. 1989 / Ред. А.Я. Орлов, В.В. Осипов. М.: Наука. 230 с.
- Экосистемы Теллермановского леса. 2004 / Ред. В.В. Осипов. М.: Наука. 340 с.
- Shvidenko A., Shchepashchenko D.G., Nilsson S., Buluy Y.I. 2008. Tables and models of growth and productivity of forests of major forest forming species of Northern Eurasia (standard and reference materials). M.: Federal Agency of Forest Management. 886 p. [Электронный ресурс [http://webarchive.iiasa.ac.at/Research/FOR/forest\\_cdrom/Articles/THR.pdf](http://webarchive.iiasa.ac.at/Research/FOR/forest_cdrom/Articles/THR.pdf) (дата обращения 10.05.2020)].

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 631.4

ПРОЯВЛЕНИЕ ЗАСОЛЕНИЯ И СОЛОНЦЕВАТОСТИ В ЗОНАЛЬНЫХ ПОЧВАХ  
СУХИХ СТЕПЕЙ МОНГОЛИИ<sup>1</sup>

© 2021 г. Е.И. Панкова, И.А. Ямнова

Почвенный институт им. В.В. Докучаева

Россия, 119017, г. Москва, Пыжевский пер., д. 7, стр. 2. E-mail: irinayamnova@mail.ru

Поступила в редакцию 28.07.2020. После доработки 30.08.2020. Принята к публикации 01.09.2020

В статье обсуждается проблема классификационного положения сухостепенных (каштановых) почв, приведенная в работах «Классификация и диагностика почв СССР» (1977), «Классификации и диагностике почв России» (2004) и в «Мировой реферативной базе почвенных ресурсов» (2014). На примере почв Монголии показано, что почвы сухих степей, формирующиеся на легких незасоленных породах, как правило, незасолены и несолонцеваты. Почвы сухих степей Монголии, формирующиеся на соленосных породах, засолены и солонцеваты. Почвы, в профиле которых отмечаются суглинистые прослои (даже на фоне преобладающего легкого гранулометрического состава и незасоленных пород), обычно характеризуются наличием признаков солонцеватости в суглинистых горизонтах.

**Ключевые слова:** каштановые почвы, криоаридные почвы, kastanozem, солевой и солонцовый горизонты.

**DOI:** 10.24411/1993-3916-2021-10136

Согласно «Классификации почв СССР» (1977), основным зональным типом почв для сухих степей являются каштановые. Морфологический профиль каштановых почв имеет следующее строение: А – В ( $B_1$ ,  $B_2$ ) – ВСса – Ссс, где А – гумусовый горизонт, В – переходный, ВСса – аккумулятивно-карбонатный и Ссс – аккумулятивно-гипсовый. В горизонтах А и В часто проявляется солонцеватость, связанная с биогенной аккумуляцией солей и периодическим подтягиванием щелочных почвенных растворов. Однако наличие солонцеватости не обязательно в профиле каштановых почв так же, как и наличие гипсового горизонта и горизонта легкорастворимых солей. Примером являются сухостепные почвы Сибири, в которых отсутствие солонцового и солевого горизонтов объясняется фациальными биоклиматическими особенностями почв территории Сибири. В работе «Классификация и диагностика почв России» (2004) каштановые почвы сухих степей входят в отдел аккумулятивно-карбонатных малогумусных почв, в профиле которых выделяется светлогумусовый горизонт; далее ксерометаморфический (соответствующий по «Классификации ...» (1977) горизонту В<sub>1</sub>). Ниже выделяется горизонт Вк (на глубине 45-70 см), который сменяется горизонтом, содержащим гипс и легкорастворимые соли. Наряду с отделом аккумулятивно-карбонатных почв, в котором выделяется тип каштановых почв, в «Классификации ...» (2004) в качестве самостоятельного вынесен отдел палево-метаморфических почв, куда входят почвы сухих степей юга Сибири, в большинстве своем не содержащие солонцового и солевого горизонтов. Эти территории характеризуются криоаридным климатом. В «Классификации ...» (2004) отмечается, что в этих условиях формируются своеобразные почвы, характеризуемые каменистым супесчано-песчаным субстратом, грубогумусовым горизонтом, а также наличием в профиле этих почв мучнистых карбонатов и отсутствием солонцового и солевого горизонтов. В «Классификации ...» (2004) эти почвы выделяются как особый тип криоаридных почв. Впервые почвы, подобные криоаридным, были описаны В.И. Волковинцером (1978). Судя по названию типа почв «криоаридные», своеобразие почв определяет криоаридный климат.

Согласно «Мировой реферативной базе почвенных ресурсов» (2014), каштановые почвы (kastanozem) выделяются на самом высоком таксономическом уровне как особая реферативная

<sup>1</sup> Работа выполнена по теме Госзадания НИР № 0591-2019-0023 «Выявить особенности засоления почв разных регионов Восточной Сибири и сопредельных территорий».

почвенная группа. Профиль каштаноземов характеризуется следующими обязательными показателями: 1) наличием гумусового горизонта «mollic», 2) наличием карбонатного горизонта «calcic», расположенного на глубине  $\leq 50$  см от нижней границы горизонта mollic, 3) насыщенностью основаниями ( $\text{pH} \geq 7$ ) в слое от поверхности почвы до горизонта calcic. Наряду с тремя главными признаками каштаноземы характеризуются также дополнительными 37-ю квалифиликаторами. Среди основных указаны такие свойства, как гипсоносность (gypsic), карбонатность (calcic), глееватость (gleyc), слитость (vertic), скелетность (skeletal) и другие. Среди дополнительных квалифиликаторов выделяются показатели, указывающие на возможность наличия в профиле почв засоления, солонцеватости и ряда других свойств.

Таким образом, согласно «Классификации ...» (1977), в почвах сухих степей солонцеватость и наличие в профиле горизонтов гипса и легкорастворимых солей является необязательными признаками типа каштановых почв, а фациальной (биоклиматической) особенностью, которая характеризует каштановые почвы Сибири. Согласно работе «Классификация ...» (2004), почвы сухих степей Сибири относятся к особому типу криоаридных. Судя по названию, особенности этих почв определяются криоаридным климатом, что, по нашему мнению, является недоказанным фактом. В «Мировой реферативной базе ...» (2014) выделена реферативная почвенная группа – kastanozem, в профиле которой, наряду с тремя обязательными показателями, указанными выше, может присутствовать большое количество других признаков, в том числе засоленность, солонцеватость, оглеенность и т.д., но при этом эти почвы все равно относятся к одной реферативной группе – kastanozem, но с дополнительными признаками, указанными в квалифиликаторах. Целью наших исследований является изучение засоленности и солонцеватости в сухостепенных почвах Монголии, которые до последнего времени относились к типу каштановых почв.

### **Объект и методы исследований**

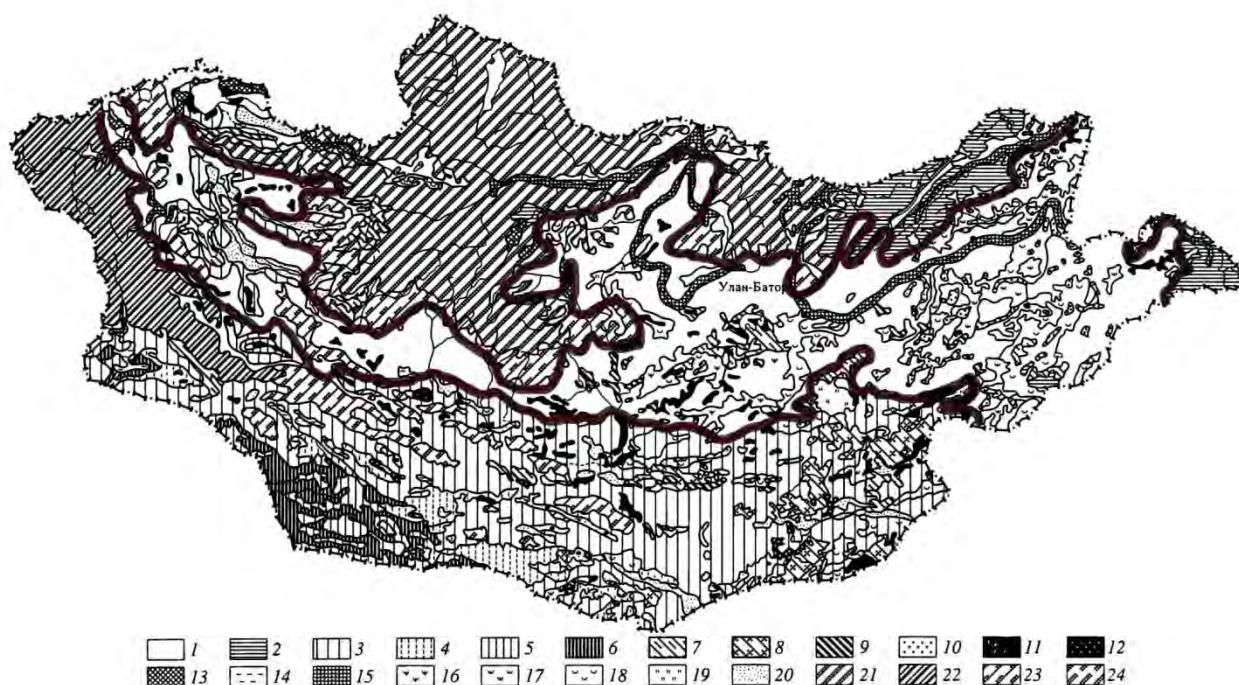
Объектом исследования являются почвы сухих степей Монголии, которые, согласно публикациям разных авторов, проводивших исследования в этой стране, относились к типу каштановых почв (Прасолов, 1927; Полынов, 1925; Полынов, Лисовский, 1930; Беспалов, 1951; Герасимов, Лавренко, 1952; Почвенный покров и почвы Монголии, 1984; Доржготов, 1992; Почвенный покров основных природных зон Монголии, 1978; Панкова, 1964, 1997). При этом во всех указанных работах отмечены особенности каштановых почв Монголии и их отличия от каштановых почв юга Европейской России. Это было статистически подтверждено работой В.А. Ибрагимовой с соавторами (2018), где было показано, что основные отличия почв сухих степей Монголии от почв юга Европейской России заключаются в особенностях проявления засоленности, солонцеватости и карбонатности. Вопросы своеобразия карбонатного профиля каштановых почв Монголии мы уже рассматривали ранее (Панкова, Ямнова, 2019). В данной статье мы рассмотрим особенности проявления засоленности и солонцеватости в почвах сухих степей Монголии. При решении этой проблемы мы опирались на материалы, которые собрали при картографировании и изучении свойств почв разных регионов сухих степей Монголии. Аналитическая характеристика этих почв получена по общепринятым методикам (Аринушкина, 1970; Воробьевая, 1998).

Сухие степи Монголии расположены в восточной части суббореального пояса Евразии, который тянется от берегов Черного моря на западе до гор Хангая на востоке. На территории Монголии подзона сухих степей вытянута с запада на восток на 1700 км, а с севера на юг – на 350-450 км. Северная граница подзоны проходит примерно по 48-50° с.ш. На юге граница сухих степей Монголии проходит примерно по 46° с.ш. (Полынов, Лисовский, 1930; Герасимов, Лавренко, 1952; рис. 1). В данной статье основное внимание мы уделим изучению особенностей проявления засоления и солонцеватости в зональных почвах сухих степей Монголии.

### **Результаты исследований**

Известно, что присутствие горизонтов скопления гипса и легкорастворимых солей в профиле каштановых почв под иллювиальным карбонатным горизонтом считается ярким генетическим признаком этого типа для почв юга Европейской части России. Однако для каштановых почв Монголии присутствие сколько-нибудь значительного количества легкорастворимых солей и гипса нехарактерно (табл. 1). Сумма легкорастворимых солей, как правило, по всему почвенному профилю составляет около 0.1%, т.е. почвы относятся к незасоленным. В чем причина этого своеобразия

монгольских каштановых почв? Некоторые авторы, например, Н.Д. Беспалов (1951) и Н.А. Ногина (1964) объясняют отсутствие легкорастворимых солей и гипса в каштановых почвах Монголии так же, как и в почвах Забайкалья, промытостью почв, связанной с режимом выпадения осадков и легким составом почв.



**Рис. 1.** Район исследования на почвенной карте Монголии (Панкова, 1997). Условные обозначения. Почки равнин и мелкосопочников: 1 – каштановые (темно-каштановые, каштановые и светло-каштановые), 2 – черноземы, 3 – аридные (бурые пустынно-степные, палево-бурые и серо-бурые), 4 – серо-бурые средне-профильно-гипсоносные, 5 – крайнеаридные маломощные поверхностно-слабогипсоносные, 6 – крайнеаридные поверхностно-гипсоносные, 7 – каштановые и лугово-каштановые солонцеватые, 8 – бурые и серо-бурые солонцеватые, 9 – солонцы автоморфные, 10 – солонцы полугидроморфные и гидроморфные, 11 – солончаки, 12 – та́кыры, 13 – луговые засоленные мерзлотные (содовые), 14 – луговые засоленные, 15 – пойменные локально засоленные, 16 – участие солончаков, 17 – участие луговых солонцов, 18 – участие автоморфных солонцов и солонцеватых почв, 19 – участие луговых засоленных почв, 20 – пески. Почки горных территорий: 21 – высокогорные и горные с участием мерзлотно-таежных, дерново-таежных, горно-луговых и горно-степных, 22 – высокогорные без участия мерзлотно-таежных и дерново-таежных, преимущественно горно-степные, каштановые и таежно-горно-тундровые, 23 – горные, преимущественно каштановые, 24 – горные, преимущественно полупустынные и пустынные; жирной линией указана зона распространения каштановых почв.

Иную точку зрения по этому вопросу высказывал Б.Б. Полынов (1925), который говорил о том, что высокая «гипсоносность» и присутствие легкорастворимых солей в каштановых почвах Европейской части Союза и Казахстана есть «результат не общезональных, а местных условий». Понятие «местный» используется в том широком смысле слова, который объединяет особенности историко-геологических условий обширной области Западно-Сибирской, Арабо-Каспийских и прилегающих к ним стран. Иной и противоположный характер в этом отношении обнаруживает другая меридиональная полоса: Забайкалье, Северная Монголия и Северная Гоби. Иными словами, причину отсутствия в каштановых почвах легкорастворимых солей и гипса Б.Б. Полынов связывает в первую очередь с исходной незасоленностью и негипсоносностью почвообразующих пород. Это было подтверждено и другими исследователями (Панкова, Рубцова, 1983).

Мы проанализировали засоленность почв сухих степей Монголии, формирующихся на четвертичных незасоленных и мелпалеогеновых засоленных отложениях, и определили, что почвы на четвертичных отложениях, как правило, не засолены (табл. 1), а на мелпалеогеновых красноцветах – всегда засолены. Однако в единичных разрезах каштановых почв Монголии, развитых на четвертичных отложениях, в профиле иногда обнаруживаются горизонты легкорастворимых солей (табл. 1). Это почвы замкнутых понижений, формирующиеся на четвертичных озерных или аллювиально-озерных отложениях и пережившие ранее луговую солончаковую стадию почвообразования.

**Таблица 1.** Характеристика засоленности почв гидроморфного ряда в южных степях Монголии.

№ разреза	Глубина образца, см	Плотный остаток	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	смоль(экв.)/кг	
										%	
93	0-5	0.02	нет	0.14	0.04	0.12	0.08	0.13	0.09		
	20-27	0.03		0.12	0.12	0.1	0.13	0.10	0.11		
	35-42	0.02		0.16	0.02	0.15	0.13	0.12	0.08		
	70-80	0.05		0.26	0.18	0.28	0.19	0.10	0.43		
	130-140	0.01		0.12	0.04	0.05	0.04	0.12	0.05		
	190-200	0.05		0.12	0.22	0.29	0.15	0.13	0.45		
378	0-5	0.03	нет	0.29	0.03	0.08	0.23	следы	0.17		
	35-42	0.06		0.35	0.03	0.39	0.31	0.16	0.30		
	70-78 (линза)	0.08		0.77	0.03	0.31	0.31	0.31	0.49		
	70-80	0.07		0.32	0.07	0.47	0.31	0.08	0.47		
	135-142	0.05		0.83	0.07	0	0.47	0.23	0.20		
167	8-15	0.03	нет	0.11	0.06	0.29	0.12	0.01	0.33		
	35-43	0.03		0.32	0.02	0.2	0.29	0.07	0.18		
	90-98	0.02		1.0	0.02	0.38	0.76	0.11	0.53		
	130-138	0.05		0.32	0.02	0.16	0.27	0.12	0.11		
	190-200	0.01		0.44	0.06	0.13	0.21	0.10	0.32		
	190-200	0.05		0.44	0.06	0.12	0.29	0.02	0.31		
262	0-50	0.11	нет	1.06	0.28	0.16	0.12	0.20	1.28		
	150-160	0.14		1.10	0.84	0.12	0.12	0.12	1.92		
	250-260	0.14		0.72	0.79	0.33	0.04	0.12	1.68		
	350-360	0.12		0.64	0.47	0.33	0.04	0.04	1.36		
293	20-100	0.16	нет	1.06	0.28	0.98	0.05	0.05	2.22		
	100-150	0.43		0.26	2.77	0.53	2.2	0.25	0.24	6.27	
	200-210	0.38		0.20	2.19	0.51	2.0	0.21	0.09	4.60	
	350-360	0.20		нет	1.08	0.43	1.14	0.06	0.06	2.53	
	450-460	0.16		0.62	0.20	1.48	0.05	0.05	2.20		
527	20-50	0.06	нет	0.12	0.63	0.19	0.08	0.15	0.32	0.55	
	100-110	0.05		0.24	0.52	0.15	0.04	0.08	0.22	0.55	
	250-300	0.11		1.11	0.77	0.10	0.11	0.20	1.67		
	350-360	0.07		нет	0.83	0.19	0.30	0.08	0.28	0.96	
	450-460	0.17		0.83	0.36	0.69	0.25	0.01	1.62		
593	100-150	0.43	нет	0.00	0.19	0.07	1.09	0.08	0.31	0.96	
	200-210	0.38		0.00	0.19	следы	0.39	0.16	следы	0.42	
	350-360	0.20		0.58	2.21	следы	0.94	0.23	0.08	3.42	
	100-150	0.43		0.58	2.21	следы	3.42	0.31	0.16	5.74	
	200-210	0.38		0.45	1.63	0.85	7.70	0.39	0.23	10.01	
	350-360	0.20		0.58	1.89	следы	1.56	0.23	следы	3.80	

В настоящее время эти территории заняты каштановыми почвами, но в их профиле могут сохраняться легкорастворимые соли, которые не обнаруживаются в большей части каштановых почв Монголии. Количество легкорастворимых солей в них зависит от их первоначального содержания в почвообразующей породе и от длительности процессов остеинения и выщелачивания. Глубина залегания солевых горизонтов в этом случае обусловлена также фильтрационными свойствами почв. Таким образом, засоленность в почвах сухих степей Монголии проявляется, только если почвы сформированы на соленосных отложениях.

Приведенные нами данные подтверждают вывод Б.Б. Полынова о том, что гипсоносность и присутствие значительного количества легкорастворимых солей (сульфатных и хлоридных) в профиле каштановых почв не является обязательным зональным признаком типа, а связано с характером почвообразующих пород. В сухих степях Монголии основная часть почвообразующих пород несоленосна и негипсоносна, а потому и в профиле каштановых почв нет горизонтов скопления гипса и легкорастворимых солей.

Л.И. Прасолов и И.Н. Антипов-Каратаев (1939) указывали на то, что генетическим показателем каштановых почв является не количество легкорастворимых солей, а качественный состав последних и закономерность распределения солей по профилю: в верхней части профиля (до глубины 90-100 см) господствуют бикарбонаты кальция и магния; ниже – зона бикарбонатов щелочных катионов; еще ниже среди легкорастворимых солей преобладают сульфаты и хлориды. К этому выводу авторы пришли на основании изучения каштановых почв на юге Европейской части России. Данные по каштановым почвам Монголии, формирующиеся на четвертичных отложениях, позволили выявить следующие закономерности. Среди анионов явно преобладает  $\text{HCO}_3^-$ . Количество хлора по всему профилю очень небольшое, порядка 0.1-0.3 смоль(экв.)/кг. Сульфатов содержится несколько больше, чем хлора – 0.2-0.4 смоль(экв.)/кг. Некоторое увеличение содержания сульфатов отмечается на глубине 60-120 см. Гипс, как правило, отсутствует.

Преобладание щелочных оснований среди катионов связано, вероятно, с характером почвообразующих пород. Очевидно, что благодаря составу пород и современной биоклиматической обстановке в каштановых почвах Монголии создаются условия для образования бикарбонатных и карбонатных солей, в том числе бикарбонатов и карбонатов натрия. И действительно, данные водных вытяжек обнаруживают присутствие следов соды в отдельных разрезах каштановых почв, не имеющих в своем профиле других легкорастворимых солей.

Согласно классификации засоленных почв, предложенной В.А. Ковдой, В.В. Егоровым, В.С. Муратовой и Б.П. Строгановым (1960), а позже – Н.И. Базилевич и Е.И. Панковой (1968) и Е.И. Панковой с соавторами (2006), тип современного соленакопления в сухих степях Монголии может быть назван содовым либо сульфатно-содовым. Хотя по степени засоления почвы относятся к незасоленным лишь в отдельных разрезах (293 и 593), где отмечается повышенное содержание солей, но это, скорее, исключение.

В.В. Егоров (1961) наметил зону распространения очагов содового засоления в восточной Азии. Она захватывает Кулундинскую степь, Забайкалье и внутреннюю Монголию в пределах Китая, но также к этой зоне должны быть отнесены сухие степи Монголии. «Причину появления содового засоления следует рассматривать здесь, как элемент зонально-геохимических процессов, необходимым фактором образования соды в этих условиях являются, по-видимому, присутствие значительных масс гранитов среди массивно-кристаллических пород, слагающих соседние горные сооружения» (Егоров, 1961, стр. 5). Однако биоклиматические особенности степной Монголии и медленно идущие процессы выветривания и почвообразования определят крайне незначительное количество вновь образующихся солей. Широкое развитие легких пород и хорошая дренированность почв приводят к быстрому удалению образовавшихся солей из почвенного профиля. Этот процесс замедляется лишь из-за присутствия в почве глинистого или суглинистого экрана, препятствующего выщелачиванию. Именно в этом случае в почвах могут быть обнаружены следы соды при отсутствии других солей (табл. 1).

Содержание и состав легкорастворимых солей в грунтовых водах степной Монголии подтверждает общее небольшое количество солей и их преимущественно гидрокарбонатный состав (табл. 2). Как видно из таблицы 2, грунтовые воды содержат солей меньше 1 г/л, т.е. они не засолены, но в составе катионов преобладает натрий ( $\text{Na}^+$ ), а в составе анионов – гидрокарбонат ( $\text{HCO}_3^-$ ), т.е. воды щелочные.

Несомненный интерес представляют сопутствующие каштановым почвам представители гидроморфного ряда, которые формируются на выклинивающихся грунтовых водах и могут содержать некоторое количество легкорастворимых солей (табл. 1). Тип засоления в гидроморфных и автоморфных почвах будет близок по составу, но количество солей будет существенно отличаться.

**Таблица 2.** Содержание и состав легкорастворимых солей в грунтовых водах степей Монголии.

№ скважины	УГВ, м	Сумма солей %	смоль(экв.)/л						
			CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>
2	3	0.32	нет	3.19	0.38	0.54	2.46	0.19	1.45
31	10.6	1.18		11.90	3.92	0.00	2.68	3.97	9.17
39	19.7	0.66		7.59	0.78	0.10	1.52	1.90	5.02
37	2	1.02		10.59	1.96	0.52	2.18	1.43	9.40

В заключение следует подчеркнуть, что в каштановых почвах Монголии нет четкой выраженности солевых горизонтов, т.е. горизонтов, содержащих соли в токсичных количествах. Малое количество солей объясняется незасоленностью исходных пород, относительно слабыми процессами современного соленакопления, сочетающимися с энергичными процессами выщелачивания. Специфика современного соленакопления, связанная прежде всего с составом почвообразующих пород, определяет образование преимущественно гидрокарбонатно-кальциево-натриевых солей, присутствие которых отмечается по всему почвенному профилю, но в чрезвычайно малых количествах, что позволяет относить каштановые почвы Монголии к незасоленным; и лишь в отдельных разрезах, преимущественно в западинах, иногда отмечается присутствие легкорастворимых щелочных солей.

Наряду с засолением каштановым почвам Европейской России свойственна солонцеватость. В почвенной литературе существуют две точки зрения по поводу солонцеватости как генетического показателя каштановых почв. Первая наиболее четко сформулирована в работе Л.И. Прасолова и И.Н. Антипова-Каратеева (1939, стр. 874): «Совершенно не обязательна для типичных каштановых почв их солонцеватость. Причиной же развития солонцеватых разностей должны являться особенности материнских пород, включая сюда характер засоления и степень минерализованности грунтовых вод».

Иной точки зрения придерживаются другие авторы, которые считают солонцеватость зональным признаком почв сухих степей. И.Н. Першина (1958), И.П. Герасимов и М.А. Глазовская (1960) подчеркивают, что «появление солонцеватости связано с биологическим поглощением солей натрия некоторыми растениями сухой степи, имеющими глубокую корневую систему» и «перекачки» натрия из материнских пород в почвенные горизонты (Герасимов, Глазовская, 1960, стр. 350).

То, что солонцеватость есть обязательная черта каштановых почв, формирующихся на засоленных породах, является установленным фактом. Но может ли она быть присуща каштановым почвам, формирующемся на породах, не содержащих легкорастворимых натриевых солей? Как показывает изучение каштановых почв Монголии, здесь развиты преимущественно каштановые несолонцеватые, хотя редко встречаются и солонцеватые варианты. При описании каштановых солонцеватых почв мы отметили два случая их образования: большая часть солонцеватых каштановых почв Монголии генетически связана с луговыми солончаково-солонцеватыми. Об этом свидетельствует их распространение в замкнутых котловинах, в центре которых нередко находится озеро либо явный луговой солончак. На бортах таких котловин обычно развиваются каштановые солонцеватые почвы, сохраняющие в своем профиле следы былой луговости, а также некоторое количество легкорастворимых сульфатных и карбонатно-натриевых солей (табл. 1).

Характерно, что на ранних стадиях оstepнения солончаковых почв могут образовываться как солонцы, так и каштановые солонцеватые почвы легкосуглинистого и даже супесчаного механического состава. Такие почвы на территории Монголии были впервые описаны Л.И. Прасоловым (1927). Эволюционное развитие почвенного покрова в данном случае будет проходить следующим образом: луговой сульфатно-садовый солонец → солончак → солонец оstepняющийся → каштановая солонцеватая почва. Все стадии этого процесса можно наблюдать в

настоящее время на бортах почти любой озерной котловины в пределах сухих степей Монголии. Чем легче гранулометрический состав пород, на которых формируются солонцеватые почвы, тем меньше емкость поглощения и количество поглощенного натрия, тем легче и быстрей происходит удаление легкорастворимых солей из почвенного профиля и удаление натрия из поглощающего комплекса, т.е. тем легче происходит рассоление и рассолонцевывание почвы. К тому же легкий гранулометрический состав в данном случае исключает процессы переменной солевой миграции внутри почвенной толщи (вверх-вниз), которая могла бы поддерживать солоноватость почв более длительное время.

**Таблица 3.** Гранулометрический состав каштановых солонцеватых почв Монголии.

Глубина образца, см	Размер фракции, мм							
	>1	1-0.25	0.25-0.05	0.05-0.01	0.01-0.005	0.005-0.001	<0.001	<0.01
р. 316, Каштановая солонцеватая								
0-5	нет	16.7	62.8	5.8	1.3	5.8	7.6	14.7
26-34	28.8	25.9	29.8	0.0	0.9	5.1	9.5	15.6
40-48	нет	31.8	32.9	0.6	3.3	5.2	26.2	34.0
68-76	нет	46.4	35.1	0.0	0.6	1.3	16.6	18.0
122-130	74.2	12.8	4.7	0.2	0.3	0.6	7.2	8.0
170-175	нет	63.8	16.4	1.6	0.6	2.6	15.0	18.2
р. 215, Каштановая солонцеватая								
30-37	нет	25.1	49.7	0.0	0.7	5.8	18.7	24.0
50-57	нет	23.4	24.7	2.6	2.6	5.9	40.8	49.3
80-87	нет	27.0	28.3	0.7	2.7	0.6	40.7	44.0
130-157	52.9	28.7	9.3	0.3	0.0	0.3	9.0	9.3
190-195	нет	4.9	16.7	10.9	4.8	13.0	49.7	67.5

Более продолжительного времени требует оstepнение лугового солончака-солонца, развитого на суглинистых озерных или аллювиальных отложениях в гидроморфных условиях (Убугунов, 2017; Убугунов и др., 2017а). Но в результате оstepнения даже в этом случае развивается каштановая солонцеватая почва, которая в дальнейшем переходит в каштановую слабосолонцеватую. Подобный процесс был подробно рассмотрен Н.А. Ногиной (1964) для степей Забайкалья. Автор считает, что в условиях Забайкалья в результате оstepнения в настоящее время происходит полное рассолонцевывание почв. Одним из аргументов, подтверждающих этот вывод, является широкое развитие почв, обладающих морфологическими свойствами солонцеватости при отсутствии в них поглощенного натрия (Ногина, 1964, стр. 204). Подобные явления встречаются и на территории степей Монголии.

Так, разрез 242, имеющий морфологию солонца, содержит в поглощающем комплексе относительно небольшое количество поглощенного натрия (табл. 4).

**Таблица 4.** Состав поглощенных катионов солонца для разреза 242.

Глубина образца, см	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^++\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^++\text{K}^+$
	смолъ(экв.)/кг			%		
0-5	18.85	8.83	2.13	63	30	7
15-23	12.25	6.60	1.63	59	35	7
55-63	18.85	17.59	4.28	46	44	10

Подобное несоответствие химических и морфологических показателей встречалось и в солонцеватых, и в слабосолонцеватых каштановых почвах. Вероятно, это явление так же, как для

почв Забайкалья, можно объяснить остаточной солонцеватостью. Приведенные выше данные говорят о том, что в условиях монгольских степей формируются каштановые солонцеватые почвы при остеинении луговых солончаковых почв, с их последующим рассолонцовыванием за счет естественной биологической мелиорации. Этот процесс наиболее отчетливо выражен в почвах легкого гранулометрического состава; что касается суглинистых почв, то их остеинение и рассолонцовывание идет значительно медленнее. Рассмотренный выше способ формирования каштановых солонцеватых почв Монголии можно считать наиболее характерным, но не единственным.

В отдельных случаях в степях Монголии встречаются каштановые солонцеватые почвы (на склонах и на относительно повышенных участках), генезис которых трудно объяснить предшествующей луговой солончаковой стадией почвообразования. Эта особенность была отмечена Л.И. Прасоловым в его работе «Южное Забайкалье ...» (1927). Он указывал на то, что часть солонцеватых почв, встречающихся в комплексах с каштановыми почвами, развилаась, «по всей вероятности, без влияния подпора грунтовой воды, а также без непосредственной связи с соленоносными породами». В профиле таких почв на всю глубину не обнаруживается сколько-нибудь значительного количества легкорастворимых солей, несмотря на наличие в них суглинистых прослоев, которые помешали бы полному удалению солей, если бы те там были. Следовательно, данные почвы не пережили ранее солончаковую стадию почвообразования. Чем же объяснить наличие солонцеватых свойств, пусть даже слабосолонцеватых, в данных почвах?

Л.И. Прасолов (1927) объясняет это явление приносом солей с ветром и пылью с территорий близлежащих солончаков, оговариваясь, однако, что это лишь его предположение. Для условий Монголии объяснить появление солонцеватых почв импульверизацией довольно сложно, хотя этот вопрос обсуждается и в современной литературе о почвах Бурятии (Убугунов и др., 2017б). Во-первых, солончаки занимают в степях Монголии очень небольшую площадь; во-вторых, здесь встречаются преимущественно содовые солончаки, без мощных солевых скоплений на поверхности. И, наконец, для каштановых почв Монголии характерно скорее выдувание мелкозема из поверхностных горизонтов, чем принос пылеватых частиц и солей.

Объяснить появление солонцеватости биологической аккумуляцией натрия в каштановых почвах Монголии не менее трудно, о чем свидетельствует зольный состав растений, приведенный в таблице 5. Процентное содержание натрия не превышает долей процентов.

Вопрос о солонцеватости в данном случае следует решать в связи с характером пород и условиями современного соленакопления.

Как было показано выше, степи Монголии входят в зону современного содового соленакопления (Егоров, 1961). При этом подчеркивалось, что в связи с общей подавленностью почвенных процессов в данной биоклиматической обстановке процесс соленакопления идет крайне медленно. Натрий, освобождаясь при выветривании калинатриевых полевых шпатов, широко развитых на территории Монголии (Прасолов, 1927) и на песчаных грунтах, быстро промывается. Лишь в почвах с суглинистым экраном, а потому с затрудненным дренажом, продукты соленакопления могут задерживаться и даже накапливаться. Это в свою очередь может привести к появлению солонцеватых свойств в суглинистом горизонте (рис. 2).

Процесс образования солонцеватых почв в данном случае отличается от рассмотренного выше процесса образования солонцеватых почв в результате эволюции луговых солончаков. Здесь почвообразующая порода не содержит значительного количества легкорастворимых солей. В этом случае солонцеватость есть следствие плохого дренажа, задерживающего вынос того небольшого количества натрия, которое накапливается в почве в результате выветривания калийно-натриевых полевых шпатов. Интересно отметить, что в данном случае солонцеватый горизонт не обязательно отмечается под гумусовым горизонтом, а может лежать в нижней части почвенного профиля, т.е. на той глубине, где обнаруживается суглинистый прослой.

Таким образом, в условиях сухих степей Монголии солонцеватость каштановых почв может быть генетически связана с предшествующей луговой солончаковой стадией почвообразования, но может являться и результатом современного почвенного процесса. Небольшое развитие солонцеватых каштановых почв в степях Монголии можно объяснить двумя причинами: 1) малым распространением засоленных почв, которые в ходе эволюции почвенного покрова перешли бы в солонцеватые почвы; 2) медленно идущими в данных биоклиматических условиях процессами

выветривания и почвообразования, которые в сочетании с хорошими дренажными свойствами пород не обеспечивают повсеместного накопления продуктов современного выветривания, способствующего развитию солонцеватых свойств в почвах.

Солонцеватость как генетическое свойство почв сухих степей отчетливо проявляется лишь в почвах, формирующихся на засоленных породах, но если в породах содержится достаточно высокое количество силикатного натрия, то, освобождаясь в ходе выветривания, он может накапливаться в почвах либо в результате интенсивно идущих процессов почвообразования, либо в результате плохих дренажных свойств, что тоже может привести к развитию солонцеватости. В условиях сухих степей Монголии это наблюдается относительно редко.

**Таблица 5.** Химический состав золы растений сухих степей Монголии (в числителе – % на чистую золу, в знаменателе – % на сухое вещество; Панкова, Ямнова, 2019).

Растение	Анализируемая часть растения	Чистая бескарбонатная зола, % Аморфный КОН (5%)	SiO <sub>2</sub>		R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO	SiO <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
			Всего	5%											
Змеевка <i>Diplachne squarrosa</i>	наземная	5.1	48.9 2.5	51.2 2.6	11.6 0.6	2.3 0.1	1.3 0.1	8.0 0.4	6.3 0.3	6.7 0.3	3.7 0.2	15.4 0.8	0.13 0.01	0.12 0.01	32
	корни	5.0	36.7 1.8	45.1 2.3	24.8 1.2	11.6 0.6	8.0 0.4	5.2 0.3	13.5 0.7	5.8 0.3	3.4 0.2	6.0 1.2	0.11 0.01	1.40 0.07	5
Ковыль <i>Stipa capillata</i>	наземная	4.1	57.3 2.3	59.3 2.4	6.7 0.3	1.3 0.1	0.2 0.0	5.2 0.2	6.4 0.3	5.2 0.2	3.7 0.2	6.7 0.3	0.12 0.01	0.09 0.01	35
	корни	9.0	39.0 3.5	46.5 4.2	24.0 2.2	12.2 1.1	8.4 0.8	3.4 0.3	14.2 1.3	6.1 0.6	2.2 0.2	24.0 2.2	0.11 0.01	0.48 0.04	5
Вострец <i>Aneurolepidium pseudo-agropyrum</i>	наземная	6.2	43.8 2.7	46.5 2.9	14.6 0.9	1.3 0.1	4.9 0.3	8.5 0.5	6.6 0.4	3.3 0.2	4.3 0.3	14.6 0.9	0.12 0.01	0.24 0.02	14
	корни	4.5	31.4 1.4	36.1 1.6	16.7 0.7	8.9 0.4	3.1 0.2	4.8 0.2	10.3 0.5	3.0 0.1	4.2 0.2	16.7 0.7	1.02 0.05	0.22 0.01	7
Житняк <i>Agropyrum cristatum</i>	наземная	6.2	47.6 3.0	50.9 3.2	15.3 1.0	2.1 0.1	6.9 0.4	6.3 0.4	5.7 0.4	4.1 0.3	3.4 0.2	15.3 1.0	0.16 0.01	0.09 0.01	12
Полынь <i>Artemisia frigida</i>	наземная	3.3	7.9 0.3	11.5 0.3	17.4 0.6	4.5 0.2	4.0 0.1	8.9 0.3	19.0 0.6	6.8 0.2	5.0 0.2	17.4 0.6	0.51 0.01	0.38 0.01	3

**Примечание к таблице 5:** анализы выполнены аналитиком Е.С. Горячевой в лаборатории Географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

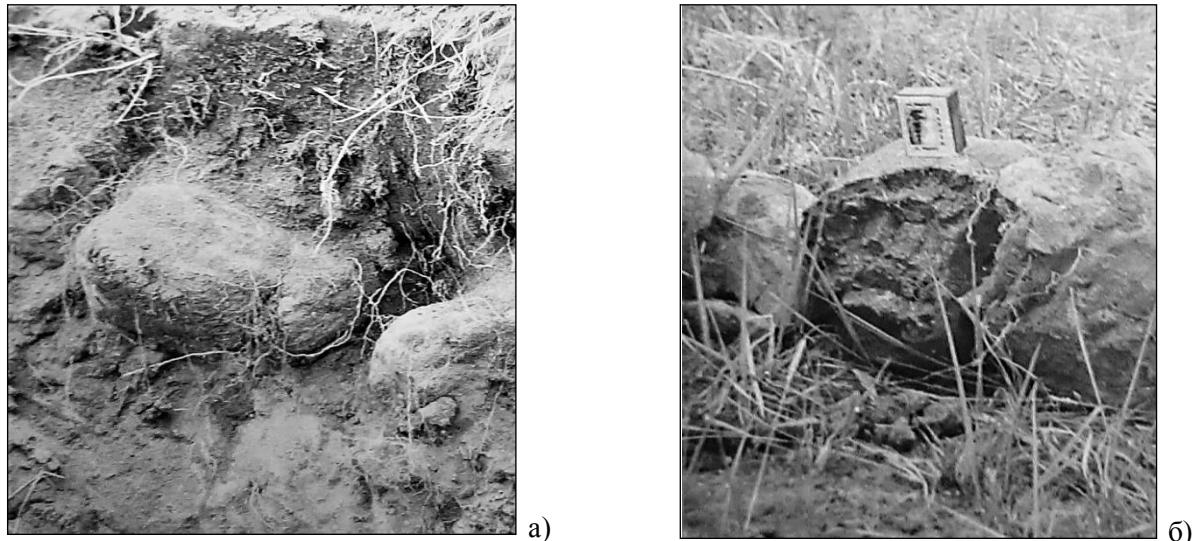
### Выводы

Согласно «Мировой реферативной базе почвенных ресурсов» (2014), рассмотренные нами почвы Монголии следует относить к реферативной почвенной группе каштаноземов (kastanozemets).

Каштановые почвы сухих степей Монголии (каштаноземы) преимущественно не засолены и не солонцеваты, что является следствием состава их почвообразующих пород.

Засоленность и солонцеватость в почвах сухих степей Монголии в определенных литолог-

геоморфологических и гидрологических условиях могут проявляться как дополнительные признаки почв сухих степей.



**Рис. 2.** Морфологическая выраженность солонцового горизонта каштановой почвы: а) солонцовый горизонт в профиле каштановой сильно солонцеватой почвы, б) структурные отдельности (в срезе) солонцового горизонта.

Засоленность и солонцеватость каштаноземов отмечается, если почвы сухих степей формируются на засоленных отложениях – древних мелпалеогеновых породах или остаточнозасоленных озерных отложениях четвертичного возраста. В этом случае в профиле почв может проявляться засоленность и солонцеватость, вплоть до формирования солонцов.

Анализ приведенных в статье материалов, характеризующих проявление засоленности и солонцеватости в почвах сухих степей Монголии, позволяет считать, что эти свойства почв являются провинциальной особенностью сухих степей в том случае, если почвы формируются на засоленных породах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аринушкина Е.А. 1970. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Московского университета. 487 с.
- Беспалов Н.Д. 1951. Почвы Монгольской Народной Республики // Труды Монгольской комиссии АН СССР. Вып. 41. 319 с.
- Базилевич Н.И., Панкова Е.И. 1968. Опыт классификации почв по засолению // Почвоведение. № 11. С. 3-16.
- Волковинцер В.И. 1978. Степные криоаридные почвы. Новосибирск: Наука. 208 с.
- Воробьева Л.А. 1998. Химический анализ почв. М.: Изд-во МГУ. 272 с.
- Герасимов И.П., Глазовская М.А. 1960. Основы почвоведения и географии почв. М.: Географгиз. 490 с.
- Герасимов И.П., Лавренко Е.И. 1952. Основные черты природы Монгольской Народной Республики // Очерки по физической географии зарубежных стран. М.: Географгиз. С. 27-48.
- Егоров В.В. 1961. Содовое засоление почв в Южном Синьцзяне (к геохимии соды) // Почвоведение. № 5. С. 1-6.
- Доржгэтов Д. 1992. Почвы Монголии: генезис, география, систематика, ресурсы и использование. Дисс. ... докт. биол. наук. М. 529 с.
- Ибрагимова В.А., Конюшкова М.В., Голованов Д.Л. 2018. Опыт составления и сравнительного анализа баз данных по целинным каштановым почвам Прикаспия (Россия и Казахстан) и Монголии // Экосистемы: экология и динамика. Т. 2. № 4. С. 106-131. [Электронный ресурс <http://www.ecosystemsdynamic.ru/stati/> (дата обращения 05.08.2020)].
- Классификация и диагностика почв СССР. 1977. М.: Колос. 223 с.
- Классификация и диагностика почв России. 2004. Смоленск: Ойкумена. 342 с.
- Ковда В.А., Егоров В.В., Муратова В.С., Строганов Б.П. 1960. Классификация почв по степени и качеству засоления в связи с солеустойчивостью растений // Ботанический журнал. Т. 45. № 8. С. 1123-1131.
- Мировая реферативная база почвенных ресурсов. 2014. Испр. и доп. ФАО и МГУ. 203 с.

- Ногина Н.А. 1964. Почвы Забайкалья. М.: Изд-во АН СССР. 314 с.
- Панкова Е.И. 1964. Каштановые почвы Восточно-Монгольской равнины и их краткая мелиоративная оценка // Почвенно-географические и ландшафтно-геохимические исследования. М.: Изд-во МГУ. С. 158-181.
- Панкова Е.И. 1997. Закономерности формирования почвенного покрова и особенности почв степей и пустынь Монголии // Почтоведение. № 7. С. 789-798.
- Панкова Е.И., Воробьева Л.А., Гаджиев И.М., Горохова И.Н., Елизарова Т.Н., Королюк Т.В., Лопатовская О.Г., Новикова А.Ф., Решетов Г.Г., Скрипникова М.И., Славный С., Черноусенко Г.И., Ямнова И.А. 2006. Засоленные почвы России. М. 854 с.
- Панкова Е.И., Рубцова Л.П. 1983. Засоление почв сухих и опустыненных степей Монголии // Почтоведение. № 9. С. 13-20.
- Панкова Е.И., Ямнова И.А. 2019. Карбонатный профиль как генетический показатель каштановых почв Монголии // Экосистемы: экология и динамика. Т. 3. № 4. С. 3-21. [Электронный ресурс <http://www.ecosystemsdynamic.ru/stati/> (дата обращения 05.08.2020)].
- Першина И.Н. 1958. Развитие солонцеватости как генетического и зонального свойства каштановых почв // Доклады ТСХА. Вып. 34. С. 5-15
- Полынов Б.Б. 1925. Исследование почв // Краткие отчеты экспедиции по исследованию Северной Монголии. Л. 58 с.
- Полынов Б.Б., Лисовский Е.И. 1930. Рекогносцировочные исследования в области Северной Гоби // Предварительный отчет почвенно-географических экспедиций в Северную Монголию. Л. Вып. 9. 74 с.
- Почвенный покров и почвы Монголии. 1984. М.: Наука. 189 с.
- Почвенный покров основных природных зон Монголии. 1978. М.: Наука. 174 с.
- Прасолов Л.И. 1927. Южное Забайкалье (почвенно-географический очерк). Л. 424 с.
- Прасолов Л.И., Антипов-Каратаем И.Н. 1939. Каштановые почвы // Почвы СССР. Т. 1. М.: Изд-во АН СССР. 407 с.
- Убугунов В.Л. 2017. Солонцы севера Баргузинской котловины (Бурятия, Россия) // Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. К.И. Скребина. № 2 (43). С. 56-60.
- Убугунов В.Л., Убугунова В.И., Чижикова Н.П., Варламов Е.Б., Хитров Н.Б., Жамбалова А.Д. 2017а. Солонцы зон тектонических разломов севера баргузинской котловины (Бурятия, Россия) // Природа Внутренней Азии. № 2 (3). С. 38-48.
- Убугунов В.Л., Убугунова В.И., Жамбалова А.Д. 2017б. Разнообразие и классификация засоленных почв Баргузинской котловины // Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. К.И. Скребина. № 2 (43). С. 50-55.

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 581.9

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ПОДЗЕМНОЙ ЧАСТИ ЭФЕМЕРОВО-ПОЛЫННОЙ  
ПОЛУПУСТЫНИ КУРА-АРАКСИНСКОЙ НИЗМЕННОСТИ  
В СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

© 2021 г. С.А. Ганиева, Э.А. Гурбанов

Азербайджанский университет архитектуры и строительства  
Азербайджан, AZ 1073, г. Баку, ул. А.Султанова, д. 11. E-mail: s.ganiyeva@hotmail.com

Поступила в редакцию 20.12.2019. После доработки 16.07.2020. Принята к публикации 01.09.2020

В данной статье рассматриваются закономерности динамики подземной части эфемерово-полынной полупустыни Кура-Араксинской низменности в условиях изменения климата. Было установлено, что независимо от фазы развития растений, сезона года в современных климатических условиях в разные годы соотношение продуктивных и непродуктивных корней у растений сохраняется на определенном уровне. Приводятся цифры и данные в таблицах, иллюстрирующие многократно проведенные опыты и наблюдения. На основе научно обоснованных данных делаются выводы, что с углублением в почву уменьшение корневой массы в растительных сообществах происходит с выраженной закономерностью.

**Ключевые слова:** изменения климата, эфемеры, полынь, корневая система, подземная фитомасса, почва.

**DOI:** 10.24411/1993-3916-2021-10137

Кура-Араксинская низменность, как и многие другие аридные регионы мира, столкнулась с проблемой опустынивания экосистем (Бабаев и др., 2015).

Полынная растительность является одним из распространенных типов климатически обусловленной растительности полупустыни (Blagoveshchenskaya, Isaev, 2018; Matvienko et al., 2017; Stasyuk et al., 2004). Надземная часть растительности Кура-Араксинской низменности изучена довольно хорошо, а подземная – очень слабо. Морфологическому и экологическому изучению подземных частей посвящены работы И.Н. Бейдемана (1939).

О значении корневой системы написано довольно много. Свои исследования мы проводили в естественных и искусственных фитоценозах. Однако здесь приведены материалы, касающиеся количественной характеристики одного из наиболее распространенных растительных сообществ в Кура-Араксинской низменности – эфемерово-полынного, над которым проводились наблюдения в стационарных условиях в течение 5 лет (с 2012 по 2016 гг.).

В Кура-Араксинской низменности, включая территорию Керарского ботанического стационара, преобладает полынная формация, состоящая из сообществ трехчленной структуры. Первый ярус образован синузией полыни (*Artemisa fragrans* W.<sup>1</sup>); второй – синузией эфемеров и эфемероидов (*Aegilops cylindrical*, *Poa bulbosa* var. *vivipara*, *Lolium rigidum*, *Avena fatua*); третий – споровой синузией, которая состоит из мхов и лишайников, таких как *Placodium lentigerum*, *Collema* sp., *Fulgensia fulgens*. Кроме полыни в травостое встречаются такие полукустарники, как мимозка (*Lagonychium farctum*) и каперсы (*Capparis spinosa* L.). В составе эфемерово-полынной полупустыни отмечены виды, относящиеся к 20 семействам. Из них наиболее широко распространены виды семейства злаковых, крестоцветных и сложноцветных. Покрытие в этой полупустыне достигает 75-85%, ценозообразователями являются *A. fragrans*, *A. cylindrical*, *Poa bulbosa* var. *vivipara*.

**Объект и методы исследования**

Рассматривая климатические изменения XX века, связанные с потеплением, можно выделить два периода: первый – с 1910 по 1940 гг., второй – с 70-х годов (Золотокрылин, 2013; Сафаров, 2000;

<sup>1</sup> Латинские названия растений приводятся по работе «Сельскохозяйственный энциклопедический словарь» (1989).

Сафаров, Махмадов, 2011). Данные мониторинга современного климата Азербайджана показывают, что тенденция к потеплению значительно усилилась. Так, за период 1990-2010 гг., по данным наблюдений наземной гидрометеологической сети Азергидромета, среднегодовая температура приземного воздуха в Азербайджане возросла на 0.9°C, тогда как за предыдущее столетие прирост составил 1.33°C (Сафаров, 2000; Сафаров, Махмадов, 2011; Гасанов, 2015). За последние 15-20 лет минувшего столетия потепление в Кура-Араксинской низменности стало более заметным.

Исследования подземной части растений в эфемерово-полынной полупустыне производили раздельно для полыни и для эфемеровой синузии. При взятии образцов по отдельным почвенным горизонтам применялся метод Н.А. Качинского (1925), который в дальнейшем был разработан и дополнен М.С. Шалытом (1950, 1960). Согласно этому методу, площадь монолитов равнялась 0.25 м<sup>2</sup> (стороны монолита – 50x50 см), повторность – четырехкратная. Отмывку монолитов проводили на станке, предложенном М.С. Шалытом (1950, 1960), ячейки нижнего сита которого имели диаметр 0.25 мм. После отмычки корни высушивались до воздушно сухого состояния и взвешивались. Во время камеральной обработки корни, полученные из каждого почвенного слоя, подвергались тщательной разборке и разделялись по фракциям. Отдельные фракции взвешивались, определялся средний диаметр корней (количество промеров для фракции толстых корней – от 50 до 100, для тонких – от 100 до 200), затем определялся объем каждой фракции. Определение диаметра толстых корней осуществлялось при помощи штангенциркуля, а тонких – при помощи микроскопа с окуляр-микрометром.

Поскольку изучение надземных и подземных частей растительных группировок в стационарных условиях проводилось в течение нескольких лет по сезонам, мы получили возможность сравнить подземную часть полыни душистой и эфемеровой синузии этого фитоценоза в любой фазе развития. Однако в данной статье мы сравниваем лишь зимнее и летнее состояние подземных частей растительности, у которой наблюдается резкая разница именно в эти периоды.

Рассмотрим почвенные условия эфемерово-полынной полупустыни, развитой на лугово-сероземной почве. Профиль почвы, находящейся под этой группировкой, можно характеризовать следующим образом: 0-16 см – серый, тяжелосуглинистый, ярко выражен дерновый слой, масса корней; 16-38 см – светло-серого цвета, глинистый, влажный, корней много; 38-56 см – светло-серый с сизоватым оттенком, тяжелосуглинистый, обильно выделяется карбонатная белоглазка, корней полыни много; 56-85 см – светло-серый, на нижней границе горизонта имеется уплотненный карбонатно-гипсовый слой, друзы кристаллического гипса; 85-100 см – светло-серый, палевый, суглинистый, в нижней части горизонта слегка опесчененный.

Солевой состав водной вытяжки в полупустыне приводится в таблице 1, где отчетливо видна слабая засоленность верхних горизонтов. Засоление почвы от верхней части профиля вглубь увеличивается постепенно; минимальное содержание солей составляет 0.11%, а максимальное – 0.03%. На глубине 1.5 м засоленность достигает 1.5%. Содержание гумуса в первом полуметровом слое колеблется от 1.06 до 2.28%, затем постепенно уменьшается и на глубине 1 м составляет 0.67%. Изучение подземной части растений в отдельные сроки или фазы развития, учет её подземных частей представляет определенный интерес, а ход накопления и разложения при этом прослеживается очень последовательно.

### Результаты и их обсуждение

Результаты проведенных наблюдений за 2012-2015 гг. сведены в таблице 2. Максимальная подземная фитомасса обнаружена в зимнее время в январе.

Результаты исследований (табл. 3, рис. 1) показывают, что корневая система полыни душистой проникает в почву до 1 м и имеет поверхностное ветвление. Это особенно видно по трем показателям количественного учета: массе, поверхности и длине. Тонкие корневые волоски составляют основную массу в приповерхностном слое; ниже 60 см корневая система состоит из одних тонких корней. Эти данные еще раз подтверждают наличие у корней полыни поверхностного ветвления. Ярусность корневых систем выделяется очень четко.

В первом приповерхностном горизонте сосредоточена основная масса корней, которая в зависимости от времени наблюдения составляет 44-98 г или 64-72% веса всех корней; поверхность их составляет 3-8 м<sup>2</sup> или 63-67% от поверхности всех корней, а длина – 8223-21726 м или 57-65% от длины всех корней. Наблюдаются преобладание мелких корней. Что касается недеятельных корней,

то они встречаются только в пределах I-III горизонтов. По мере углубления в почву наблюдается сперва резкое, а затем постепенное уменьшение подземной массы. В последнем горизонте находится 0.6-1.6% всей массы, 0.6-2.7% всей поверхности и 1-3.6% всей длины корней.

**Таблица 1.** Солевой состав водной вытяжки и содержание гумуса в лугово-сероземной почве Керарского ботанического стационара (эфемерово-полынная полупустыня).

Глубина, см	Гипровлаги, %	Гумус по Тюрину, %	Плотный остаток, %	Сумма солей, %	Водная вытяжка, в числителе – %, в знаменателе – мг-экв./100 г почвы						
					CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	Ca	Mg	K
0-12	2.86	2.28	0.11	0.13	Нет <u>0.057</u> 0.95	0.007 0.18	0.029 0.62	0.014 0.070	0.002 0.23	0.031 0.80	0.015 0.65
12-34	2.54	1.44	0.12	0.16	Нет <u>0.041</u> 0.67	0.044 1.25	0.026 0.55	0.010 0.51	0.003 0.28	0.034 0.88	0.020 0.89
32-58	3.04	1.06	0.27	0.32	Нет <u>0.038</u> 0.62	0.064 1.81	0.112 2.33	0.016 0.84	0.004 0.37	0.061 1.56	0.046 1.99
58-85	4.60	0.89	0.78	0.76	Нет <u>0.025</u> 0.42	0.084 2.37	0.418 8.719	0.086 431	0.019 1.64	0.064 1.64	0.09 3.92
85-105	2.34	0.67	0.44	0.42	Нет <u>0.030</u> 0.050	0.100 2.81	0.154 3.22	0.023 1.17	0.012 0.93	0.042 1.08	0.067 2.90

**Таблица 2.** Сезонная и разногодичная динамика накопления подземной массы полыни душистой (воздушно-сухой вес, ц/га).

Дата	Масса корней, г	Дата	Масса корней, г	Дата	Масса корней, г
25.10.2012	10.2	25.06.2013	6.8	30.05.2014	5.2
25.01.2013	12.8	03.07.2013	6.1	09.06.2014	5.3
22.04.2013	9.0	20.07.2013	7.1	16.06.2014	5.6
09.05.2013	6.8	25.10.2013	11.3	02.07.2014	6.1
19.04.2013	8.2	25.01.2014	13.2	25.11.2014	12.1
29.05.2013	5.2	25.03.2014	8.4	25.01.2015	14.1
05-06.06.2013	5.4	06.05.2014	8.7		
15.06.2013	3.0	17.05.2014	8.2		

Соотношение деятельных и недеятельных корней по всему профилю следующее: деятельные корни составляют по массе 54-125 г или 89-92% от массы всех корней, по поверхности – 5-12 м<sup>2</sup> или 99-99.98% от общей поверхности, по длине – 12686-36695 м или 99.45-99.98% от длины всех корней. Недеятельные корни составляют по массе 6-16 г или 8-12%, по поверхности – 0.04-0.07 м<sup>2</sup> или 0.4-0.9%, по длине – 7-188 м или 0.02-0.6% от общей массы, поверхности и длины всех корней.

Рассмотрим подземные части эфемеровой синузии. Ход накопления подземной фитомассы приводится в таблице 4. Результаты наблюдений, проведенных зимой 25 января 2015 г., показывают, что, находясь долгое время в почве, отмершие корни эфемеров меняют свою постоянную окраску, несколько приближаясь к грязно-коричневато-буроватому цвету; а недеятельные корни обычно бывают лишены корневых волосков. Здесь уместно сказать, что в 2015 г. недеятельные корни эфемеров, находящиеся во втором горизонте, несколько сохранили при себе тончайшие волоски, и, согласно методу, мы должны были бы включить их во фракцию деятельных корней.

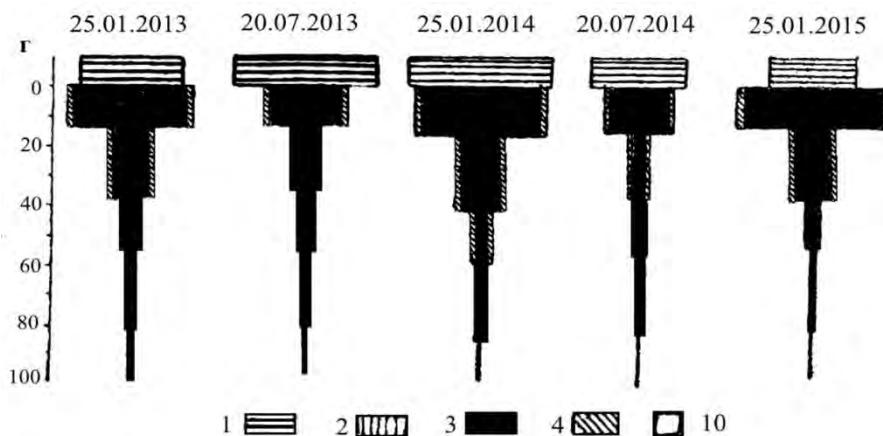
**Таблица 3.** Распределение массы, поверхности и длины корней в почве под полынью на площадках в 1 м<sup>2</sup> в эфемерово-полынной группировке на лугово-сероземной почве.

Дата	№ шурфа	Мощность горизонта, см	Вес корней		Поверхность корней		Длина корней		Соотношение деятельных/недеятельных корней, %		
			г	% от общего веса корней	м <sup>2</sup>	% от общей поверхности корней	м	% от общей длины корней	по весу	по поверхности	по длине
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
25.01.2013	10	0-14	71.5	64.4	6.00	62.6	16031.8	61.5	90.5	99.7	99.99
			7.5	67.6	0.02	50.0	2.3	34.3	9.5	0.3	0.01
		14-38	23.2	20.9	18.4	19.2	4857.7	18.6	90.3	99.5	99.95
			2.5	22.5	0.01	25.0	2.3	34.3	9.7	0.5	0.05
		38-55	9.8	8.8	0.94	9.8	2569.2	9.9	89.9	98.9	99.9
			1.1	9.9	0.01	25.0	2.1	31.4	10.1	1.1	0.08
		55-82	4.7	4.4	0.58	6.1	1821.1	7.0	100.0	100.0	100.0
		82-100	1.8	1.7	0.22	2.3	799.9	3.0	100.0	100.0	100.0
		0-100	111.0	100.0	9.58	100.0	26079.7	100.0	90.9	99.6	99.97
			11.0	100.0	0.04	100.0	6.7	100.0	9.1	0.4	0.03
20.07.2013	91	0-13	44.4	67.9	3.59	60.4	10002.0	56.9	91.5	99.4	99.97
			4.1	71.9	0.02	50.0	3.1	43.1	8.5	0.6	0.03
		13-35	13.2	20.2	1.34	22.8	4090.7	23.3	91.0	99.3	99.93
			1.3	22.8	0.01	25.0	2.8	28.9	9.0	0.7	0.07
		35-54	4.5	6.9	0.52	8.8	1700.9	9.7	93.7	98.1	99.92
			0.3	5.3	0.01	25.0	1.3	18.0	6.3	1.9	0.08
		54-81	2.1	3.3	0.31	5.3	1135.0	6.5	100.0	100.0	100.0
		81-100	1.1	1.7	0.16	2.7	634.7	3.6	100.0	100.0	100.0
		0-100	65.4	100.0	5.88	100.0	17563.3	100.0	92.0	99.3	99.96
			5.7	100.0	0.04	100.0	7.2	100.0	8.0	0.7	0.04
25.01.2014	107	0-17	75.2	63.8	7.25	60.8	21742.0	59.2	90.1	99.6	99.98
			8.3	68.0	0.03	50.0	4.7	52.8	9.9	0.4	0.02
		17-42	26.5	22.5	2.76	23.1	8411.0	22.9	89.5	99.3	99.96
			3.1	25.4	0.02	33.3	13.9	43.8	10.5	0.7	0.04
		42-60	10.5	8.9	1.16	9.7	3748.8	10.2	92.9	99.1	99.99
			0.8	6.6	0.01	16.7	0.3	3.4	7.1	0.9	0.01
		60-85	3.9	3.3	0.54	4.5	19.18	5.3	100.0	100.0	100.0
		85-100	1.7	1.5	0.23	1.9	875.1	2.4	100.0	100.0	100.0
		0-100	117.8	100.0	11.94	100.0	36695.5	100.0	90.6	99.5	99.98
			12.2	100.0	0.06	100.0	8.9	100.0	9.4	0.5	0.08
20.07.2014	164	0-16	38.7	70.7	3.03	67.0	8220.4	64.8	88.2	93.9	99.96
			5.2	77.6	0.02	50.0	3.0	44.8	11.8	0.7	0.04
		16-38	10.2	18.6	0.83	18.4	2129.8	16.8	91.9	98.8	99.91
			0.9	13.4	0.01	25.0	2.0	29.9	8.1	1.2	0.09
		38-56	3.5	6.4	0.39	8.6	1338.9	10.6	85.4	97.5	99.87
			0.6	9.0	0.01	25.0	1.7	25.3	14.6	2.5	0.13
		56-85	1.9	3.5	0.24	5.3	868.4	6.8	100.0	100.0	100.0
		85-100	0.4	0.8	0.03	0.7	128.6	1.0	100.0	100.0	100.0

## Продолжение таблицы 3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
20.07. 2014	164	0-100	54.7 6.7	100.0 100.0	4.52 0.04	100.0 100.0	12686.1 6.7	100.0 100.0	89.1 10.9	99.1 0.9	99.95 0.05
		0-14	87.2 10.3	69.5 66.0	7.54 0.09	63.1 57.1	20717.9 104.7	60.9 55.8	89.4 10.6	99.5 0.5	99.53 0.47
		14-38	23.6 4.1	18.8 26.3	2.36 0.02	19.7 28.6	6318.0 80.0	18.6 42.6	85.2 14.8	99.2 0.8	98.75 1.25
	180	38-54	9.2 1.2	7.3 7.7	1.31 0.01	11.0 14.3	4400.0 2.9	12.9 1.6	88.5 11.5	99.2 0.8	99.93 0.07
		54-82	4.3 1.2	3.4 1.0	0.60 0.14	5.0 1.2	2047.0 533.9	6.0 1.6	100.0 100.0	100.0 100.0	100.0 100.0
		82-100									
		0-100	125.5 15.6	100.0 100.0	11.95 0.07	100.0 100.0	34017.0 187.6	100.0 100.0	88.9 11.1	99.5 0.5	99.45 0.55

**Примечание к таблицам 3 и 5.** Над чертой даны значения для деятельных корней, под чертой – для недеятельных корней.



**Рис. 1.** Распределение массы корней (в г) *Artemisia fragrans* W. по сезонам на 1 м<sup>2</sup> в эфемерово-полынной полупустыне. Условные обозначения к рисункам 1 и 2: 1 – надземная масса, 2 – мертвый покров, 3 – деятельные корни, 4 – недеятельные корни.

Однако мы отнесли корни однолетних эфемеровых растений независимо от того, имеют они волоски или нет, к фракции недеятельных корней, т.к. в этом году в связи с засухой не было новых отрастаний эфемеров и эфемероидов. Поэтому результаты количественного учета показали преобладание недеятельных корней над деятельными именно зимой 2015 г.

У синузий эфемеров образуется приповерхностная сеть корней в слое почвы 3-5 см; корневая система эфемеров проникает здесь не глубже 20-25 см, эфемероидов – 43-48 (52) см.

Во всех ямах глубже третьего горизонта корни эфемеров и эфемероидов отсутствуют, а встречающиеся корни в нижних горизонтах принадлежат эдификатору данной полупустыни – полыни душистой. Количество корней с 1 м<sup>2</sup> площади (табл. 5, рис. 2) в течение трех вегетационных лет колеблется по массе в пределах 70-330 г, по поверхности – в пределах 5-34 м<sup>2</sup>, по длине – в пределах 11719-89541 м. Основная масса корней, как и у полыни, сконцентрирована в первом приповерхностном горизонте мощностью 14-16 (17) см, а с переходом во второй и третий горизонты наблюдается резкое уменьшение массы. В первом горизонте в зависимости от времени наблюдения накопленная масса составляет 77-78% от всей массы корней, поверхность – 71-76% от поверхности всех корней и 67-73% длины всех корней.

**Таблица 4.** Сезонная и разногодичная динамика накопления подземной массы эфемеров синузии эфемерово-полынной полупустыни (воздушно-сухой вес, ц/га).

Дата	Масса корней, г	Дата	Масса корней, г	Дата	Масса корней, г
25.10.2012	16.0	25.06.2013	8.6	06.05.2014	11.8
25.01.2013	28.0	25.06.2013	12.8	17.05.2014	28.2
22.04.2013	13.7	03.07.2013	11.0	30.05.2014	17.1
09.05.2013	14.2	20.07.2013	14.4	09.06.2014	13.7
19.05.2013	20.0	25.11.2013	17.0	16.06.2014	10.0
29.05.2013	12.8	25.01.2014	33.0	02.07.2014	7.0
05.06.2013	10.0	25.03.2014	7.4	25.11.2014	10.0
					25.01.2015
					9.0

**Таблица 5.** Распределение массы, поверхности и длины корней в почве под синузией эфемеров на площадках в 1 м<sup>2</sup> в эфемерово-полынной группировке на лугово-сероземной почве.

Дата	№ ямы	Мощность горизонта, см	Вес корней		Поверхность корней		Длина корней		Соотношение деятельных/недеятельных корней, %		
			г	% от общего веса корней	м <sup>2</sup>	% от общей поверхности корней	м	% от общей длины корней	по весу	по поверхности	по длине
25.01.2013	11	0-14	176.1	77.3	17.61	72.6	44031.9	69.4	80.1	92.2	95.57
			43.7	82.0	1.50	77.7	2041.1	71.8	19.9	7.8	4.43
		14-38	37.2	16.3	4.82	19.9	13998.7	22.1	82.7	93.4	95.81
			7.8	14.6	0.34	17.6	612.3	21.5	17.3	66.6	4.19
		38-55	14.6	6.4	1.82	7.5	5454.3	8.5	89.0	95.3	96.64
			1.8	3.4	0.09	4.7	189.9	6.7	11.0	4.7	3.36
	0-100	227.9	100.0	24.25		100.0	63484.9	100.0	81.1	92.6	95.71
			53.3	100.0	1.93	100.0	2843.3	100.0	18.9	7.4	4.29
20.07.2013	92	0-13	91.2	77.7	10.19	76.0	25693.7	73.3	81.6	93.2	95.95
			20.6	76.3	0.74	71.8	1084.4	66.8	18.4	6.8	4.05
		13-35	19.6	16.7	2.32	17.3	6497.8	18.5	77.2	89.9	93.22
			5.8	21.5	0.26	25.2	472.9	29.1	22.8	10.1	6.78
		35-54	6.6	5.6	0.90	6.7	2840.6	8.2	91.7	96.8	97.69
			0.6	2.2	0.03	3.0	67.1	4.1	8.3	3.2	2.31
	0-100	117.4	100.0	13.41		100.0	35032.1	100.0	81.3	92.9	95.57
			27.0	100.0	1.03	100.0	1624.4	100.0	18.7	7.1	4.43
25.01.2014	108	0-17	201.3	76.8	23.47	7.3	61664.4	70.4	79.4	94.6	97.73
			52.2	77.6	1.35	74.2	1434.4	69.6	20.6	5.4	2.27
		17-42	42.2	16.1	6.02	18.8	17588.2	20.1	76.6	94.2	97.41
			12.9	19.0	0.37	20.3	467.9	22.7	23.4	5.8	2.59
		42-60	18.7	7.1	2.54	7.9	8276.9	9.5	87.4	96.2	98.11
	0-100	262.2	100.0	32.03		100.0	87529.5	100.0	79.5	94.6	97.70
			67.8	100.0	1.82	100.0	2061.5	100.0	20.5	5.4	2.30

## Продолжение таблицы 4.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
20.07.2014	165	0-16	38.7 14.9	74.3 83.2	4.15 0.37	70.5 82.2	10737.4 369.8	70.1 74.6	72.2 27.8	91.8 8.2	96.67 3.33
		16-38	9.3 2.5	17.9 14.0	1.18 0.06	20.0 13.3	3455.6 86.3	22.6 17.4	78.8 21.2	95.2 4.8	97.56 2.44
		38-56	4.1 0.5	7.8 2.8	0.56 0.02	9.5 4.5	1119.8 39.4	7.3 8.0	89.1 10.9	96.6 3.4	96.60 3.40
		0-100	52.1 17.9	100.0 100.0	5.89 0.45	100.0 100.0	15312.8 495.5	100.0 100.0	74.4 25.6	92.9 7.1	96.87 3.13
		0-14	18.1 62.3	76.1 81.9	2.24 1.90	76.2 76.3	6220.9 2381.9	74.2 71.5	22.5 77.5	54.1 45.9	72.32 27.68
		14-38	4.4 10.1	18.5 13.3	0.54 0.41	18.4 16.5	1651.9 626.1	19.7 18.8	30.3 69.7	56.8 43.2	72.52 27.48
25.01.2014	181	38-54	1.3 3.7	5.4 4.8	0.16 0.18	5.4 7.2	514.2 324.4	6.1 9.7	26.0 74.0	47.1 52.9	62.32 38.68
		0-100	23.8 76.1	100.0 100.0	2.94 2.49	100.0 100.0	8387.2 3332.4	100.0 100.0	23.8 76.2	54.1 45.9	71.57 28.43

В литературе отмечается то же: запас корневой массы в эфемерово-мятниковых полынниках подгорной равнины Дашиоза (Гасанов, 2015) колеблется в пределах 1183-1812 г на 1 м<sup>2</sup> в зависимости от увлажнения и степени участия мятыника в травостое, а для осоково-эфемеровых полынников Апшеронского полуострова (Шамилов и др., 2014) запас подземной фитомассы составляет 505-764 г. Общая масса корней в наших эфемерово-полынных полупустынях составляет 131-471 г.

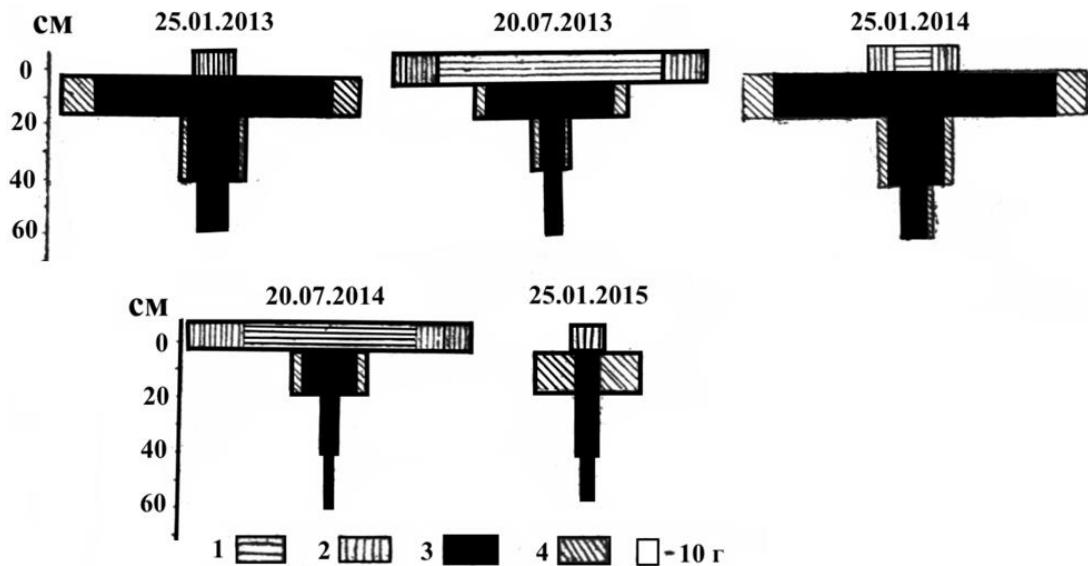


Рис. 2. Распределение массы (в г) корней синузии эфемеров в почве по сезонам на 1 м<sup>2</sup>.

В последнем, третьем, горизонте находится всего лишь 5-6.5% от всей массы, 6-9% от всей поверхности и 7-9% от всей длины корней. Во всех горизонтах наряду с деятельными корнями имеются и недеяние. Соотношение деятельных и недеятельных по всему профилю следующее: деятельных корней по массе – 24-81%, по поверхности – 54-95%, по длине – 72-98%; недеятельных по массе – 19-76%, по поверхности – 5-46%, по длине – 2-28% от всех корней.

По данным М.С. Шалыта (1950, 1960), поверхность корней в луговых группировках колеблется в пределах 66-330 м<sup>2</sup>, в степных – в пределах 50-170 м<sup>2</sup>, а по данным Э.Н. Шамилова с соавторами

(2014), в полупустынных группировках корневая поверхность находится в пределах 27 и 57 м<sup>2</sup>. Общая поверхность корней в исследуемой нами полупустыне составляет 11-46 м<sup>2</sup>.

### Выводы

1. В эфемерово-полынном фитоценозе масса корней под синузией полыни на площади 1 м<sup>2</sup> составляет 61-141 г, а под эфемеровой синузией – 70-330 г. Запас всей подземной массы составляет 131-471 г. Поверхность корней под полынью равна 5-12 м<sup>2</sup>, а под эфемерами – 5-34 м<sup>2</sup> (общая поверхность равна 10-46 м<sup>2</sup>); длина корней варьирует в пределах 249126 м.

2. Независимо от фазы развития растений, сезона года и погодных условий в разные годы соотношение деятельных и недеятельных корней у растений сохраняется на определенном уровне.

3. Основная масса корней сосредоточена в первом при поверхностном слое почвы (у полыни – 44-97 г, а у эфемеровой синузии – 54-253 г).

4. С углублением в почву уменьшение корневой массы в растительных сообществах происходит с выраженной закономерностью. Под полынью недеятельные корни располагаются в I-III горизонтах, а у эфемеров наряду с деятельными корнями всегда имеются и недеятельные во всей корнеобитаемой толще почвы. В последнем горизонте почвы у полыни наблюдается 0.6-2% всей массы, 0.6-3.19% всей поверхности и 1-4.1% всей длины корней, а у эфемеров 5-6% всей массы, 6-9% всей поверхности и 7-9% всей длины корней.

5. Максимальное количество корневой массы установлено зимой в январе, а накопление ее происходит постепенно – с осени и до зимних похолоданий.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Золотокрылин А.Н. 2013. Засухи и опустынивание в суб boreальных ландшафтах России // Известия РАН. Серия Географическая. № 5. С. 64-73.
- Бейдеман И.Н. 1939. Изменение интенсивности корневых систем в разных ценозах // Труды Института ботаники. Т. VI. С. 43-71.
- Бабаев М.П., Гурбанов Э.А., Рамазанова Ф.М. 2015. Основные виды деградации почв в Куро-Аразской низменности Азербайджана // Почвоведение. № 4. С. 1-13.
- Сафаров С.Г. 2000. Современная тенденция изменения температуры воздуха и атмосферных осадков в Азербайджане // Баку. № 6. 297 с.
- Сафаров С.Г., Махмадов Р.Н. 2011. Современные изменения климата в Азербайджан // Зия. Баку. № 6. 312 с.
- Сельскохозяйственный энциклопедический словарь. 1989 / Ред. В.Г. Гребцова. Москва: Советская энциклопедия. 1989. 655 с.
- Гасанов М.С. 2015. Изменение климата в Азербайджане и его влияние на охраняемые биосферные объекты. Устойчивое развитие горных территорий // Владикавказ. № 2. С. 33-37.
- Изменение климата и водные ресурсы. 2008 / Ред. Б.К. Бэйтс, З.В. Кундцевич, Ж.П. Полюткофф. Межправительственная группа экспертов по изменению климата. Женева. 218 с.
- Шамилов Э.Н., Абдуллаев А.С., Азизов И.В., Самедов П.А. 2014. Растительность нефтезагрязненных серо-бурых почв Абшерона и перспективы очищения этих территорий // Modem Phytomorfology. Т. 6. С. 239-242.
- Качинский Н.А. 1925. Корневая система растений в почвах подзолистого типа (исследования в связи с водным и питательным режимом почвы). Ч. I // Труды Московской областной сельскохозяйственной опытной станции. Вып. 7. 126 с.
- Шалыт М.С. 1950. Подземная часть некоторых луговых, степных и пустынных растений и фитоценозов. Ч. I. Травянистые и полукустарничковые растения и фитоценозы лесной (луга) и степной зоны // Труды Института ботаники АН СССР. Серия III «Геоботаника». Вып. 6. С. 21-47.
- Шалыт М.С. 1960. Методика изучения морфологии и экологии подземной части отдельных растений и растительных сообществ // Сборник «Полевая геоботаника». Т. II. С. 6-52.
- Blagoveshchenskaya N.V., Isaev I.E. 2018. The Holocene Evolution of Vegetation in the Southeast of the Volga Upland // Russian Journal of Ecology. Vol. 49. No. 2. P. 93-101.
- Matvienko A.I., Makarov M.I., Fertikov A.I., Sviderskaya I.V., Menyailo O.V. 2017. Response of carbon mineralization to nitrogen application in cryogenic soils // Russian Journal of Ecology. Vol. 48. No. 6. P. 576-579.
- Stasyuk N.V., Dobrovolskii G.V., Zalibekov Z.G., Saidov A.K., Dobrynin D.V. 2004. Assessment of soil cover degradation and desertification in northern lowland Dagestan // Russian Journal of Ecology. Vol. 35. No. 3. P. 144-149.

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 574.9+581.93 (517)

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВИДОВ ЦЕНОФЛОР КРИОФИТНЫХ СТЕПЕЙ И ПОДУШЕЧНИКОВ  
С УЧАСТИЕМ *STELLARIA PULVINATA* GRUB. В МОНГОЛЬСКОМ АЛТАЕ<sup>1</sup>

© 2021 г. М.В. Бочарников

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова  
Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1. E-mail: maxim-msu-bg@mail.ru

Поступила в редакцию 17.04.2020. После доработки 25.08.2020. Принята к публикации 01.09.2020

Проведен анализ распространения видов сосудистых растений, участвующих в сложении высокогорных сообществ с участием звездчатки подушечниковой (*Stellaria pulvinata* Grub.), которые формируют самостоятельный высотный пояс в высотно-поясном спектре растительности аридного класса типов поясности в центральной части Монгольского Алтая (2700-3300 м н.у.м. БС). Выявлены ценотически активные виды ценофлор криофитных степей и криофитноразнотравных подушечников, к которым относятся самобытные элементы криоксерофитных условий (*Oxytropis oligantha*, *O. chionophylla*, *Saussurea leucophylla*, *Chamaerhodos altaica*, *Arenaria meyeri*, *Androsace septentrionalis*), монтанные виды с приуроченностью к высокогорным районам Южной Сибири и Центральной Азии (*Festuca kryloviana*, *Poa altaica*), а также дерновинные злаки, представленные типично степными видами с широким распространением (*Festuca lenensis*, *Koeleria cristata*). С помощью моделирования пространственного распространения показано, что эколого-ценотический оптимум большинства видов расположен вне области развития криофитных степей и подушечников региона. В соответствии с выявленными потенциальными ареалами видов, ценотически сопряженных со *Stellaria pulvinata*, определены тесные связи растительного покрова высокогорий Центрального Монгольского Алтая с горами Южной Сибири.

**Ключевые слова:** криофитные степи, криофитные подушечники, *Stellaria pulvinata*, высокогорная растительность, Монгольский Алтай, моделирование ареалов.

**DOI:** 10.24411/1993-3916-2021-10138

Видовой состав является одним из важнейших показателей растительных сообществ, определяющих их экологическую и ботанико-географическую специфику. В объеме типологических единиц растительности разного уровня видовые списки всех входящих в нее сообществ рассматриваются в составе ценофлоры. Опорным уровнем выделения и анализа ценофлор выступают формации (в понимании эколого-морфологической классификации), возможность использования которых определена для высокогорной растительности (Седельников, 1979). Видовое разнообразие ценофлор характеризуется устойчивыми, сформированными в результате сопряженного эволюционного развития межвидовыми отношениями, проходившими под воздействием определенных биоклиматических и эдафических факторов. В ценофлоре виды могут находить как оптимальные условия развития и характеризоваться высокой активностью, так и располагаться на периферии своего ценоареала.

Распространенным алгоритмом ботанико-географического анализа ценофлор является составление и последовательный анализ спектров групп видов, определенных по общности их экологических, ценотических свойств, характера географического распространения (Седельников, 1988; Ермаков, 2006; Кучеров, Зверев, 2014). Это позволяет детерминировать ценофлоры, выявлять существующие между ними связи и различия, определяя особенности становления и формирования растительности. При этом анализ проводится как по факту присутствия видов, так и по их фитоценотической роли в сообществах, которая определяется показателями активности.

<sup>1</sup> Работа выполнена по теме Госзадания № АААА-А16-116032810082-6 «Разнообразие, динамика и мониторинг экосистем в условиях изменений окружающей среды» (подтема «Биогеографическое картографирование в исследовании разнообразия, географии и динамики экосистем»).

Для получения данных об особенностях становления ценофлор необходимо выявить соответствие между потенциальным распространением видов и их реальным участием в современном растительном покрове. Данная работа затрагивает эту проблему на основе анализа ценофлор.

Моделирование распространения видов как метод исследования в биогеографии используется для решения широкого спектра задач. Основные направления работ связаны с выявлением эколого-географических факторов распространения видов, в том числе в горах (Grinnel, 1991; Moran-Ordonez et al., 2012; Дудов, 2016; Распутина и др., 2018), оценкой эколого-климатической и географической дивергенции близких систематических таксонов (Олонова и др., 2018), прогнозом распространения видов в связи с изменением климатических условий (Xue et al., 2018). В данной работе моделирование распространения видов апробировано для выявления различий в географическом распространении видов, имеющих ценотическую сопряженность в растительных сообществах в высокогорьях центральной части Монгольского Алтая с участием *Stellaria pulvinata*<sup>2</sup>, являющегося активным эндемичным элементом горной системы. Выявленные соотношения между оптимальными условиями развития видов и условиями их произрастания в сообществах криофитных степей и подушечников позволяют дать оценку флороценогенетическим процессам, обуславливающим разнообразие криофитных сообществ и их место в современной структуре растительного покрова региона. Использование метода с позиций экологических требований видов позволит обосновать представления об исторической молодости высокогорной растительности, влиянии обмена видами между высотными поясами в процессе флорогенеза, активность которых возрастает в условиях развития растительного покрова аридного класса типов поясности.

Развитие криофитных степей и подушечников – сообществ, образованных криофитными видами злаков, осок, растениями подушковидной жизненной формы, является одной из важнейших ботанико-географических черт крио-аридных высокогорий Центральной и Средней Азии. Криофитные подушечники наибольшим разнообразием отличаются в Центральном Тянь-Шане, Восточном Памире и на Тибете, где они приобретают ландшафтное значение (Выходцев, 1956; Головкова, 1990). Криоксерофитные сообщества, входящие в состав высокогорного типа растительности криофитона (Овчинников, 1941), участвуют в сложении неоднородного по пространственной структуре высотного пояса криофитных степей и подушечников, который развит более чем на 15% площади горной системы Монгольского Алтая, занимая нижнюю часть высокогорий (Ogureeva et al., 2013). Наиболее активным элементом сообществ криофитных подушечников выступает звездчатка подушечниковая (*Stellaria pulvinata* Grub.), эндемичный для Монгольского Алтая вид (Волкова, 1994). Данные сообщества имеют определенную высотно-поясную приуроченность в макроструктуре растительности горной территории, занимая верхнюю часть высотного спектра (Огуреева, 1997). При этом в отношении специфики формирования флористического разнообразия криофитона, экологической, ценотической и географической структуры его компонентов высокогорья Монгольского Алтая остаются слабо изученным в ботанико-географическом отношении объектом исследований. В работе поставлена цель, связанная с выявлением закономерностей формирования криофитона центральной части Монгольского Алтая и обоснованием на основе флористического разнообразия связей региона с окружающими регионами.

### Материалы и методы

В качестве опорных данных о флористическом и фитоценотическом разнообразии криофитных степей и подушечников с участием *Stellaria pulvinata* в Монгольском Алтае использованы оригинальные авторские материалы – 60 полных геоботанических описаний сообществ формации, выполненных в высокогорьях Монгольского Алтая в ходе экспедиционных работ Совместной Российской-Монгольской комплексной биологической экспедиции в 1991, 1999, 2010 и 2012 гг. разными исследователями (Г.Н. Огуреева, И.М. Микляева, М.В. Бочарников, Э. Ганболд, У. Бекет, И. Тувшинтогтох). Проведенная на их основе классификация определила фитоценотическое разнообразие сообществ со *Stellaria pulvinata* в пределах одноименной формации криофитных подушечников, формаций дерновиннозлаковых (*Festuca lenensis*) криофитноразнотравных степей, осоковых (*Carex rupestris*) и кобрезиевых (*Kobresia myosuroides*) сообществ (Бочарников и др., 2015). При оценке ценотической роли видов использовался показатель их встречаемости в сообществах с

<sup>2</sup> Латинские виды растений приведены по работе И.А. Губанова (1996).

учетом проективного покрытия. Из анализа исключены виды с единичными встречами в описанных сообществах криофитных степей и подушечников. Дополнительно в анализе использованы виды, характерные для сообществ подушечниково-разнотравной группы ассоциаций, распространение которой в Монгольском Алтае впервые указано Е.А. Волковой (1994). Всего в анализе использован 51 вид сосудистых растений, принятый за активный компонент флористического состава сообществ с участием *Stellaria pulvinata*. Структура ценофлор оценена по соотношению ареалогических, поясно-зональных и эколого-ценотических групп по ряду источников (Малышев, Пешкова, 1984; Камелин, 1998; Ганболд, 2010) с изменениями и дополнениями.

Специфика ценотически значимых элементов раскрыта через характер распространения видов и определяющих его факторов. На основе метода максимальной энтропии (Phillips et al., 2006) построены потенциальные ареалы видов и проведен анализ распространения видов с определением вкладов факторов в их распространение. Использование метода потребовало точной географической привязки объектов (виды растений) и переменных (факторов среды). Первичные данные о произрастании видов взяты из трех источников: оригинальные материалы геоботанических исследований, фоновые гербарные материалы и публикации. Геоботанические материалы представлены 228 полными описаниями сообществ на Монгольском Алтае и в окрестностях горной страны, в которых зафиксировано 32 вида из числа слагающих ценофлоры криофитных степей и подушечников со *Stellaria pulvinata*, использованные в дальнейшем анализе. Все геоботанические описания имеют точную координатную привязку по GPS-приемникам. Дополнительно по материалам монгольского сектора коллекции гербария Географического факультета МГУ (MWG) определены местонахождения 5 видов в Монгольском Алтае (сборы Г.Н. Огуреевой): 1) *Aster alpinus*, котловина озера Их-Хотгор-Нур, 05.08.1991; 2) *Carex rupestris*, долина реки Улясутын Гол, 14.08.1991; 3) *Festuca kryloviana*, долина реки Улясутын Гол, 14.08.1991; 4) *Festuca lenensis*, котловина озера Их-Хотгор-Нур, 05.08.1991; 5) *Poa altaica*, долина реки Улясутын Гол, 14.08.1991. Из литературных источников использовано указание на 3 местонахождения вида *Stellaria pulvinata* с точной координатной привязкой (German et al., 2012).

В качестве переменных использованы параметры, взятые из глобальной климатической модели BioClim с пространственным разрешением 30" (Hijmans et al., 2005). Всего в анализ включены 23 переменные среды: 19 биоклиматических и 4 морфометрических (абсолютная высота и полученные из нее характеристики – крутизна, экспозиция и кривизна склонов). В целях исключения влияния на результаты корреляции между переменными проведен анализ главных компонент (PCA), позволивший разбить пространство признаков на определенное число компонентов, каждая из которых имеет свое значение вклада в их варьирование. Компоненты интерпретированы через их корреляцию с переменными (коэффициент корреляции Пирсона). Оценка вклада переменных проведена по тесту «permutation importance» (Phillips, Dudik, 2008). Путем иерархического кластерного анализа по матрице расстояний Брейя-Кертиса методом полного присоединения (complete linkage) выделены группы видов со сходной структурой вкладов факторов.

Выбор территории выявления потенциальных ареалов видов обусловлен необходимостью оценки биоклиматических показателей, определяющих распространения видов на разных уровнях высотно-поясного спектра растительности Монгольского Алтая. Территория ограничена горной системой Монгольского Алтая в пределах западной части Монголии и, частично, северо-западного Китая. Помимо горных хребтов она включает предгорные районы с прилегающими, обособленными межгорными котловинами, хребтами. Это территория Центральной Азии и Южной Сибири, простирающаяся на 700 км в направлении с северо-запада на юго-восток (от 48° 51' с.ш. и 87° 54' в.д. до 45° 33' с.ш. и 96° 02' в.д.). Она входит в состав четырех ботанико-географических провинций Монгольского Алтая (Волкова, 1994): Монголоалтайской Северозападной, Северной, Центральной и Джунгарской, а также Южной Монголоалтайской подпровинции Южномонголо-Гобийскоалтайской провинции, частично выходя за пределы данных хорионов, включая изолированные межгорными котловинами горные системы на восточной периферии территории (Хархира, Алтан-Хухийн-Ула, Дзун-Джаргалант).

Моделирование пространственного распространения видов проведено с использованием метода максимальной энтропии, алгоритм которого реализован в программе MaxEnt 3.3.3. Статистические операции проведены в программах BioDiversity Pro v. 2, MultiSpec 3.3, SAGA 2.1.4 и ArcGis 10.0. Создание финальных карт проведено в программной среде ArcGis 10.0.

### Результаты и их обсуждение

*Структура флористического разнообразия ценофлор криофитных степей и подушечников с участием *Stellaria pulvinata*.* В Монгольском Алтае формируется несколько типов высотной поясности растительности (Волкова, 1994; Огуреева, 1997; Beket, 2009). Высотно-поясные спектры для всей исследуемой территории будут включать горностепной пояс, отличающийся значительной высотной амплитудой на всем своем протяжении (1500–2500 м н.у.м. БС), а также пояс криофитных степей (2500–3000 м н.у.м. БС). Различия спектров четко прослеживаются в растительном покрове высокогорий, который сложен горными тундрами, кобрязиевниками, криофитными степями, криофитными подушечниками. Специфику центральной части горной системы придает развитие сообществ криофитных подушечников в высокогорьях. Основная их часть сосредоточена в верхней полосе пояса криофитных степей и подушечников (2700–3200 м н.у.м. БС). Они также имеют развитие в субнивальном поясе (3200–4000 м н.у.м. БС).

В поясе криофитных степей и подушечников представлено основное разнообразие сообществ с участием *Stellaria pulvinata*, которые относятся к разным типологическим подразделениям растительности. В пределах самостоятельной формации *Stellaria pulvinata* выделены сообщества криофитноразнотравных, криофитноразнотравно-дерновиннозлаковых и криофитноразнотравно-осоково-кобрязиевых подушечников, в которых вид играет роль доминанта и содоминанта (Бочарников и др., 2015). В составе сообществ формаций криофитных дерновиннозлаковых (*Festuca kryloviana*, *F. brachyphylla*, *Koeleria altaica*) степей, осоковых (*Carex rupestris*) и кобрязиевых (*Kobresia myosuroides*) сообществ *Stellaria pulvinata* участвует в небольшой примеси наряду с другими видами криофитного разнотравья (*Potentilla nivea*, *Saussurea leucophylla*).

Видовой состав ценофлор криофитных степей и подушечников с участием *Stellaria pulvinata* разнороден по поясно-зональной и ареалогической структуре (табл. 1). Специфику определяют криофитные подушковидные виды растений, самобытные элементы крио-ксерофитных условий высокогорий с особым морфологическим типом и со специфическими адаптациями к экстремальным крио-аридным условиям. Данная группа разнородна не только в экологическом отношении, но и состоит из разных по происхождению и формированию видов. *Stellaria pulvinata* является эндемичным для региона видом, формирующим самостоятельную растительную формацию с высокой ценотической значимостью в растительности высокогорий (Волкова, 1994; Бочарников и др., 2015). В комплекс криофитных подушковидных растений также входят виды, образующие подушковидную форму в условиях высокогорий Монгольского Алтая и ценотически сопряженные со *Stellaria pulvinata*, но имеющие более обширный ареал, в разных частях которого они могут не образовывать подушки. К ним относятся *Oxytropis oligantha*, *O. chionophylla*, *Saussurea leucophylla*, *Chamaerhodos altaica*, *Smelowskia calycina*, *Arenaria meyeri*, *Androsace septentrionalis*, *A. incana*.

Постоянным участием в сообществах характеризуются виды дерновинных злаков. Они представлены как типично степными, имеющими широкое распространение (*Festuca lenensis*, *Koeleria cristata*), так и монтанными видами, приуроченными, преимущественно, к высокогорным районам Южной Сибири и Центральной Азии (*Festuca kryloviana*, *Poa altaica*). Они могут выступать в роли содоминантов (в поясе криофитных дерновиннозлаковых степей и подушечников на высотах 2600–3000 м н.у.м. БС) или же участвовать в примеси к подушковидным видам (в субнивальном поясе на высотах более 3000 м н.у.м. БС). В качестве доминантов сообществ криофитных подушечников могут выступать также *Kobresia myosuroides* и *Carex rupestris* – виды, формирующие высокогорные формации кобрязиевых и осоковых тундр, но имеющие тесные эколого-фитоценотические связи с подушечниками.

*Моделирование пространственного распространения активных видов ценофлор криофитных степей и подушечников с участием *Stellaria pulvinata*.* Анализ главных компонент проведен по 23 климатическим (средняя годовая температура, средняя месячная амплитуда температур, изотермальность, сезонность температуры, максимальная температура самого теплого месяца, минимальная температура самого холодного месяца, годовая амплитуда температуры, средняя температура самого влажного квартала, средняя температура самого сухого квартала, средняя температура самого теплого квартала, средняя температура самого холодного квартала, годовое количество осадков, количество осадков самого влажного месяца, количество осадков самого сухого месяца, сезонность осадков, количество осадков самого влажного квартала, количество осадков

самого сухого квартала, количество осадков самого теплого квартала, количество осадков самого холодного квартала) и 4 морфометрическим переменным (абсолютная высота местности, крутизна, экспозиция и кривизна склонов). Он показал, что на первую компоненту (средняя месячная амплитуда температур) приходится 82.17% варьирования признаков, которым обусловлена пространственная дифференциация исследуемых видов, на первые три (средняя месячная амплитуда температур, сезонность температуры, количество осадков самого влажного квартала) – 99.94%, а первые 10 компонент определяют почти 100% варьирования. С учетом важной содержательной роли переменных даже с небольшим вкладом (Кренке, Пузаченко, 2008), в анализе использованы первые 10. Они использованы в качестве переменных при проведении моделирования, в результате которого приемлемое качество ( $AUCs > 0.84$ ) определено для всех 32 ценотически активных видов.

**Таблица 1.** Ценотически значимые виды сообществ криофитных степей и подушечников с участием *Stellaria pulvinata*.

Виды	Ареалогическая группа	Поясно-зональная группа
<i>Agropyron cristatum</i> (L.) see Palisot	ЕА	С
<i>Amblynotus rupestris</i> (Pall. ex Georgi) Popov ex Serg.	ЮСМ	ГС
<i>Androsace incana</i> Lam.	ЮСМ	ГС
<i>Androsace septentrionalis</i> L.	ГА	СХ
<i>Androsace lehmanniana</i> Spreng.	СА	М
<i>Arenaria meyeri</i> Maxim.	ЮСМ	М
<i>Artemisia argiophylla</i> Ledeb.	ЕА	ГМ
<i>Artemisia depauperata</i> Krasch.	ЮСМ	ГС
<i>Artemisia frigida</i> Willd.	ГА	ГС
<i>Artemisia pycnorhiza</i> Ledeb.	ЦА	ГС
<i>Aster alpinus</i> L.	ГА	ГМ
<i>Bistorta vivipara</i> (L.) Gray	ГА	ГМ
<i>Carex rupestris</i> All.	ГА	АА
<i>Chamaerhodos altaica</i> (Laxm.) Bunge	АДжМ	ГС
<i>Dontostemon integrifolius</i> (L.) C.A. Mey. in Ledeb.	ЮСМ	С
<i>Draba altaica</i> (C.A. Mey.) Bunge	ЦАЮС	ВГ
<i>Eremogone formosa</i> (Fisch. & Ser.) Fenzl	ЮСМ	ВГ
<i>Ferulopsis hystrix</i> (Bunge) Pimenov	ЮСМ	ГС
<i>Festuca brachyphylla</i> Schult. & Schult. f.	ГА	АА
<i>Festuca kryloviana</i> Revert.	ЦАЮС	М
<i>Festuca lenensis</i> Drobow	СААм	ГС
<i>Kobresia myosuroides</i> (Vill.) Fiori	ГА	ГМ
<i>Koeleria altaica</i> (Domin) Krylov	ЮСМ	М
<i>Koeleria cristata</i> (L.) Pers.	ГА	С
<i>Lagotis integrifolia</i> (Willd.) Schischk.	ЮСМ	ВГ
<i>Minuartia biflora</i> (L.) Schinz & Thell.	ГА	АА
<i>Orostachys spinosa</i> (L.) C.A. Mey. in Ledeb.	ЕА	ГС
<i>Oxytropis chionophylla</i> Schrenk	ЦАЮС	ВГ
<i>Oxytropis oligantha</i> Bunge	ЮСМ	ВГ
<i>Papaver canescens</i> Tolm.	ЦАЮС	А
<i>Papaver pseudocanescens</i> Popov	ЮСМ	ВГ
<i>Pedicularis amoena</i> Adams. Ex Stev.	СА	АА

## Продолжение таблицы 1.

Виды	Ареалогическая группа	Поясно-зональная группа
<i>Plantago komarovii</i> Pavlov	АЗ	ГС
<i>Poa altaica</i> Trin.	ЦАЮС	А
<i>Poa attenuata</i> Trin.	ЮСМ	С
<i>Potentilla gelida</i> C.A. Mey.	ЕА	АА
<i>Potentilla nivea</i> L.	ГА	АА
<i>Potentilla pamirica</i> Th. Wolf	ЦА	ВГ
<i>Potentilla sericea</i> L.	ЕА	ГС
<i>Ranunculus pedatifidus</i> Sm.	АДжМ	ГМ
<i>Rhodiola quadrifida</i> (Pall.) Fisch. & C.A. Mey.	СА	А
<i>Saussurea leucophylla</i> Schrenk	ЦАЮС	А
<i>Saussurea saichanensis</i> DC.	СА	М
<i>Saxifraga hirculus</i> L.	ЕА	СХ
<i>Saxifraga sibirica</i> L.	ЕА	М
<i>Sibbaldianthe adpressa</i> (Bunge) Juz.	АЗ	ЛС
<i>Silene apetala</i> Willd.	ГА	АА
<i>Smelowskia alba</i> (Pall.) Regel	ЦА	М
<i>Smelowskia calycina</i> (Stephan) C.A. Mey. in Ledeb.	СААм	А
<i>Stellaria pulvinata</i> Grub.	ЭндМА	ВГ
<i>Thalictrum alpinum</i> L.	ГА	АА

**Примечания к таблице 1. Ареалогические группы:** АДжМ – Алтае-Джунгаро-Монгольская, АЗ – азиатская, ГА – голарктическая, ЕА – евразиатская, СА – североазиатская, СААм – североазиатско-североамериканская, ЦА – центральноазиатская, ЦАЮС – центральноазиатско-южносибирская, ЭндМА – эндемичная монголоалтайская, ЮСМ – южносибирско-монгольская. **Поясно-зональные группы:** А – альпийская, АА – арктоальпийская, ВГ – высокогорная, ГМ – гипарктомонтанная, ГС – горностепная, ЛС – лесостепная, М – монтанная, С – степная, СХ – светлохвойная.

Из последующего анализа исключено пять видов (*Androsace incana*, *A. septentrionalis*, *Minuartia biflora*, *Plantago komarovii* и *Kobresia myosuroides*), результаты моделирования которых не соответствуют литературным данным об их ареалах. Для остальных 27 видов проведен дальнейший анализ закономерностей пространственного распределения по показателю критерия перестановок («*permutation importance*»), характеризующему роль вклада разных факторов в конечный результат (табл. 2).

Сравнение видов по вкладу переменных (главных компонент), определенному в результате моделирования, проведено путем составления матрицы вкладов в модель всех переменных для каждого из видов и последующего кластерного анализа. Виды при сравнении по вкладу переменных в полученную модель на уровне сходства выше 50% группируются в 5 кластеров (рис. 1). Виды, отнесенные к кластеру I, сходны в своем распространении в горах Южной Сибири и гипоарктической области. На исследуемой территории по результатам моделирования они имеют четкую приуроченность к высокогорным районам, в основном, к центральной части Монгольского Алтая. Наибольший вклад в пространственное распространение видов группы внесла пятая компонента, которая в наибольшей степени сопряжена отрицательной связью с амплитудой осадков за год (табл. 2). Распространение видов связано с высокогорьями субаридных областей, где выравнивается годовой ход осадков за счет снижения континентальности климата по сравнению с нижележащими поясами.

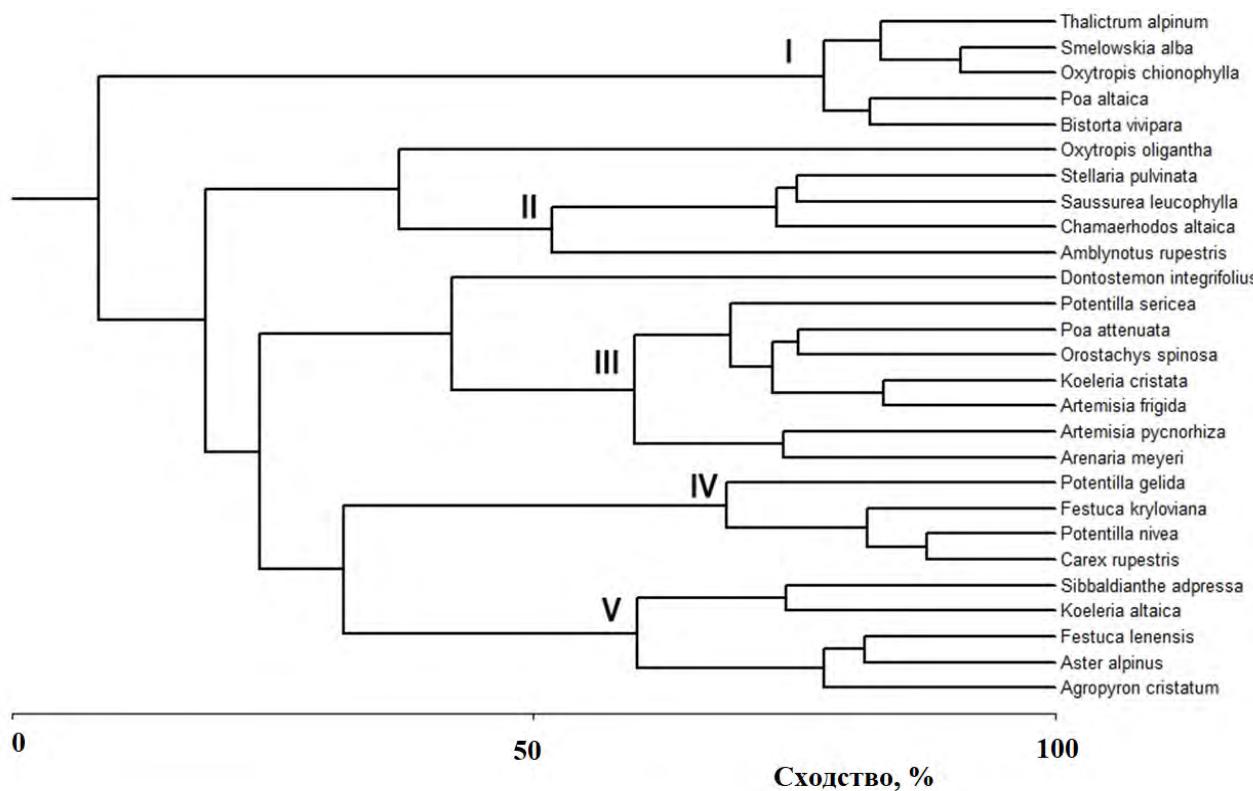
Кластер II объединяет виды, также тесно связанные по своим экологово-географическим свойствам

с высокогорными областями. В современном растительном покрове виды играют ценозообразующую роль в высокогорных типах растительности Южной Сибири и Центральной Азии: криофитных степях, кобрезиевых и осоковых тундрах. В кластер входит наиболее активный элемент криофитных подушечников – *Stellaria pulvinata*- и ценотически сопряженные с ним виды. *Saussurea leucophylla* – альпийский вид, входит в ценофлору дриадовых тундр и характерен для высокогорных областей Южной Сибири (Телятников, Мамахатова, 2011). *Oxytropis oligantha*, который присоединяется к группе в качестве подкластера на уровне сходства 35%, входит в состав диагностических видов союза *Kobresion myosuroidis* Mirkin et al. 1983 em. Hilbig 2000. Наибольший вклад в распространение видов вносят третья (отрицательная связь с крутизной склонов) и пятая (абсолютная высота) компоненты, что связано с приуроченностью видов в регионе к выположенным поверхностям выравнивания, перевалам в высокогорных областях.

**Таблица 2.** Результаты моделирования пространственного распространения ценотически активных видов сообществ криофитных степей и подушечников с участием *Stellaria pulvinata*.

Виды	Общее число точек	Критерии AUCs	Номера главных компонент с наибольшим вкладом в результирующую модель (по permutation importance)	Переменные с наибольшими значениями связи (коэффициент корреляции Пирсона) с компонентой, внесшей наибольший вклад в модель
<i>Agropyron cristatum</i>	118	0.91	7, 4, 10	1: 0.46
<i>Amblynotus rupestris</i>	21	0.97	5, 7, 11	4: -0.81
<i>Arenaria meyeri</i>	24	0.91	7, 9, 5	1: 0.46
<i>Artemisia frigida</i>	112	0.91	5, 7, 9	4: -0.81
<i>Artemisia pycnorhiza</i>	21	0.88	7, 4, 2	1: 0.46
<i>Aster alpinus</i>	59	0.87	7, 4, 3	1: 0.46
<i>Bistorta vivipara</i>	9	0.91	5, 3, 9	4: -0.81
<i>Carex rupestris</i>	16	0.93	4, 5, 10	2: 0.65
<i>Chamaerhodos altaica</i>	17	0.95	5, 3, 7	4: -0.81
<i>Dontostemon integrifolius</i>	22	0.90	6, 9, 10	3: 0.56
<i>Festuca kryloviana</i>	17	0.98	4, 5, 10	2: 0.65
<i>Festuca lenensis</i>	54	0.89	7, 4, 3	1: 0.46
<i>Koeleria altaica</i>	32	0.93	4, 5, 7	2: 0.65
<i>Koeleria cristata</i>	49	0.89	7, 5, 4	1: 0.46
<i>Orostachys spinosa</i>	30	0.89	9, 4, 7	5: -0.52
<i>Oxytropis chionophylla</i>	5	0.95	5, 8, 7	4: -0.81
<i>Oxytropis oligantha</i>	9	0.89	3, 9, 5	6: -0.95
<i>Poa altaica</i>	7	0.92	5, 7, 3	4: -0.81
<i>Poa attenuata</i>	23	0.87	5, 7, 9	4: -0.81
<i>Potentilla gelida</i>	9	0.89	4, 5, 9	2: 0.65
<i>Potentilla nivea</i>	15	0.97	4, 5, 9	2: 0.65
<i>Potentilla sericea</i>	48	0.84	7, 10, 4	1: 0.46
<i>Saussurea leucophylla</i>	5	0.94	3, 7, 8	6: -0.95
<i>Sibbaldianthe adpressa</i>	28	0.90	7, 5, 4	1: 0.46
<i>Smelowskia alba</i>	8	0.95	5, 7, 8	4: -0.81
<i>Stellaria pulvinata</i>	60	0.92	5, 3, 8	4: -0.81
<i>Thalictrum alpinum</i>	8	0.87	5, 10, 7	4: -0.81

**Примечания к таблице 2.** Главные компоненты: 1 – средняя месячная амплитуда температур, 2 – сезонность температуры, 3 – количество осадков самого влажного месяца, 4 – сезонность осадков, 5 – абсолютная высота, 6 – крутизна склонов.



**Рис. 1.** Сходство ценотически активных видов ценофлор криофитных степей и подушечников с участием *Stellaria pulvinata* по вкладу переменных в модель пространственного распространения («*permutation importance*»; кластерный анализ на основе индекса Брея-Кертиса, метод полного присоединения); I-V – кластеры с уровнем сходства более 50% (пояснения в тексте).

Основу кластера III составляют виды, имеющие не только обширный ареал, но и обладающие высокой ценотической значимостью на значительной его части. Это, прежде всего, дерновинные злаки, участвующие в сложении сообществ разнотравно-дерновиннозлаковых, настоящих, криофитных степей Сибири и Монголии (*Koeleria cristata*, *Poa attenuata* – диагностические виды класса *Cleistogenetea squarrosae* Mirkin et al. 1986). В группу также входят представители сухостепного разнотравья (*Artemisia frigida*, *Potentilla sericea*, *Orostachys spinosa*), имеющие широкое распространение в горных степях региона. В соответствии с полученными моделями с высокой степенью вероятности виды могут быть встречены в сообществах высокогорий и среднегорий горной страны, преимущественно в пределах Монголоалтайской ботанико-географической провинции, причем наибольшая степень вероятности встреч находится вне области развития криофитных подушечников. В модель пространственного распространения каждого из видов высокий вклад вносит седьмая компонента (изотермальность), что обуславливает их тяготение к области резко континентального климата горностепного пояса.

Кластер IV образован арктоальпийскими видами с приуроченностью в Центральной Азии и Южной Сибири к высокогорным районам. На исследуемой территории они развиты на территории Северо-западной, Северной и Центральной Монголоалтайской провинций. Наибольший вклад в распространение видов вносит четвертая компонента (положительная связь с годовой амплитудой температур). Связь видов данных кластеров с высокогорными областями континентальной Азии имеет исторические корни. Один из наиболее ценотически активных элементов группы – *Festuca kryloviana*, относится к реликтам ледниковой эпохи, объединяемым в «плейстоценовый флористический комплекс» (Крашенинников, 1958).

В кластер V входят виды, преимущественно, с обширным ареалом и широкой экологической амплитудой. На моделях пространственного распространения они занимают область с высокой вероятностью встречи на разных высотных уровнях горной системы. В группу входят виды, связанные с различными сообществами горных степей и высокой ценотической ролью в них

(*Agropyron cristatum*, *Festuca lenensis* и *Aster alpinus*). Высокий вклад в модель вносят седьмая (изотермальность) и четвертая (сезонность осадков) компоненты.

Большая амплитуда горностепного пояса и проникновение степей выше 2500 м н.у.м. БС в Монгольском Алтае являются одними из характерных черт аридного класса типов поясности растительности. В сообществах высокогорий сохраняется высокая роль некоторых степных видов, не уступающих по своей активности высокогорным. Это относится к широко распространенным дерновинным злакам: *Festuca lenensis*, *Koeleria cristata*, *Poa attenuata*, *Agropyron cristatum* (рис. 2). Неоднородна ценотическая роль активных видов ценофлор криофитных степей и подушечников и в региональном аспекте. При том что подушечники являются самобытными элементами растительного покрова высокогорий Центральной Азии, основу ценофлор составляют виды, тесно связанные с горами Южной Сибири, ограничиваясь в своем распространении северным рубежом Южномонголо-Гобийскоалтайской провинции, а ряд видов имеет обширный ареал с высокой ценотической значимостью в других типах сообществ (рис. 2).

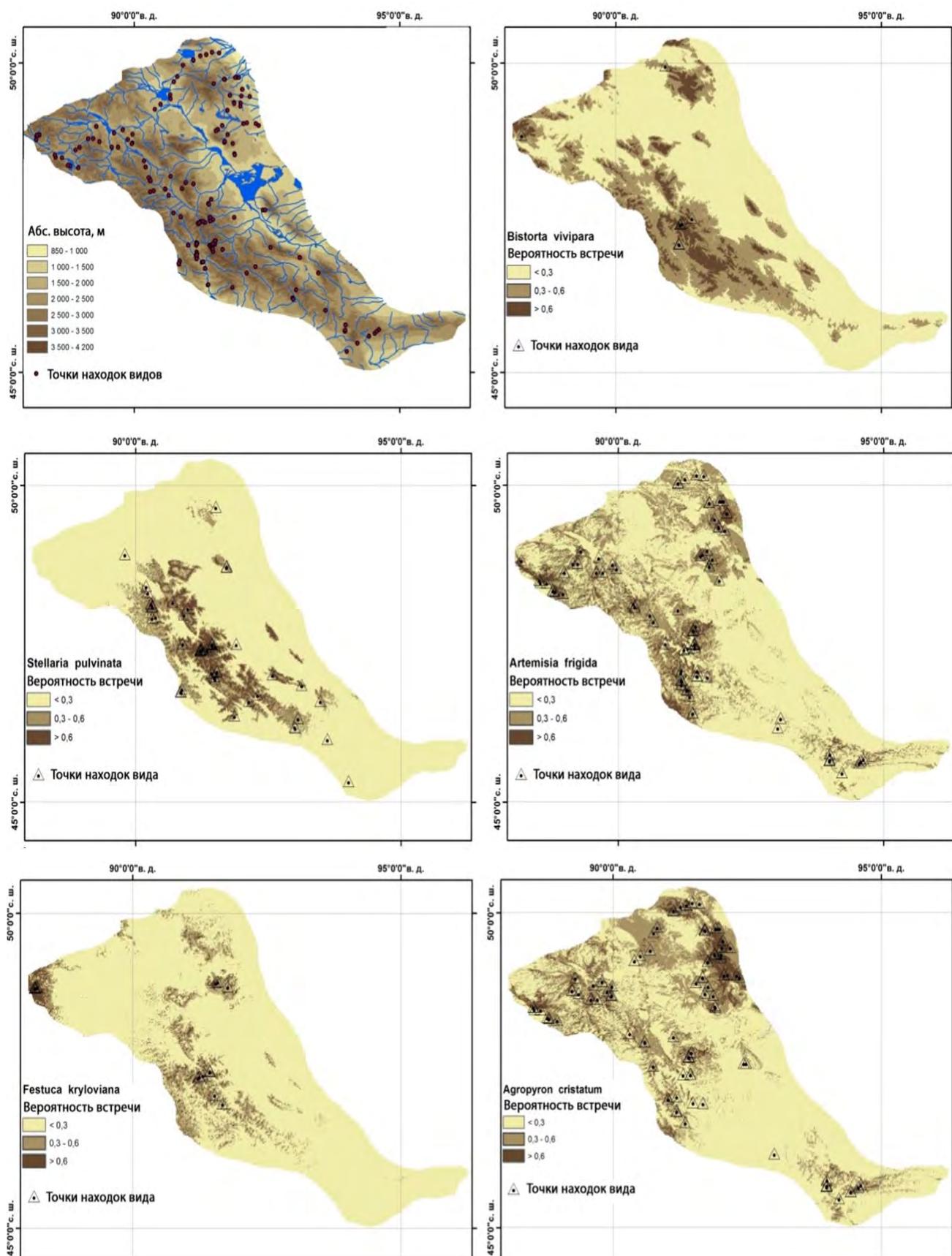
Из активных видов только ценозообразователь – *Stellaria pulvinata*, является высокогорным эндемичным видом, характерным для Центральной Монголоалтайской ботанико-географической провинции. Другие высокогорные элементы (*Oxytropis chionophylla*, *O. oligantha*, *Saussurea leucophylla*) распространены в высокогорьях по всему Монгольскому Алтаю, а также за его пределами (рис. 2).

Большинство из анализируемых видов свой ценотический оптимум имеют вне области развития криофитных подушечников, характеризуясь небольшими средними значениями вероятности встречи совместно со *Stellaria pulvinata* (в точках описаний). Основную долю составляют горностепные виды с достаточно высокими значениями стандартных отклонений вероятностей. Они экологически эвритопные, проникают вверх по высотно-поясному спектру вплоть до пояса криофитных степей и подушечников и участвуют в составе их ценофлор, но фоновые растительные сообщества в Монгольском Алтае формируют в пояссе мелкодерновиннозлаковых степей в условиях большей теплообеспеченности (*Artemisia frigida*, *Poa attenuata*). Значительная высотная амплитуда степей и проникновение ее элементов в высокогорья типичны для растительного покрова аридных типов поясности, чему полученные результаты служат подтверждением. Другая группа представлена стенотопными высокогорными видами с меньшими стандартными отклонениями вероятностей. В горах Южной Сибири и Центральной Азии они тесно связаны с высокогорными формациями, а формации криофитных подушечников являются одними из тех, в которых они являются ценотически значимыми. Участие принимают также виды, чей ценотический оптимум и доминирующая роль в ценозах приходится на другие сообщества высокогорий горных систем (например, *Carex rupestris* и *Festuca kryloviana* – ценозообразователи осоковых тундр и криофитных степей соответственно).

Использование современных экологических факторов и статистический анализ их связи с участием видов в растительном покрове открывает перспективы во флороценогенетических исследованиях, что особенно важно для горных и труднодоступных территорий с ограниченной изученностью. Полученные в работе результаты косвенно свидетельствуют об активных миграциях видов между растительными комплексами высокогорий и среднегорий, что способствует видообразованию и неоэндемизму, свойственных комплексу формаций криофитных степей и подушечников. Продолжающиеся в настоящее время миграции и молодость растительного покрова высокогорий определяют достаточно высокую степень сходства ценофлор горностепной растительности на высотно-поясном спектре.

### Выводы

Ботаническое разнообразие криофитных степей и подушечников с участием *Stellaria pulvinata* определяется особенностями эколого-географического положения ее сообществ в высокогорьях аридного класса типов поясности. С одной стороны, формирование видового состава связано с автохтонным развитием растительного покрова в специфических условиях. С другой стороны, оно происходит в условиях активного взаимодействия с нижележащими поясами и привнесением элементов растительного покрова в высокогорные области. В становлении и развитии сообществ высокогорных формаций с участием *Stellaria pulvinata* важную роль играет активное вовлечение горностепных элементов. Их ценофлоры характеризуются высокой ролью горностепных видов, имеющих оптимум своего ареала в нижележащих поясах. Обособленность монголоалтайских



**Рис. 2.** Результаты пространственного моделирования некоторых ценотически активных видов ценофлор криофитных степей и подушечников с участием *Stellaria pulvinata*.

подушечников от области основного распространения криофитона в Центральной Азии (Памир, Тянь-Шань) и их историческая молодость привели к ограниченному участию эндемичных подушковидных видов, связанных непосредственно с высокогорьями Монгольского Алтая. Основная их часть представлена монтанными видами, некоторые из которых широко распространены в степях, при этом имея специфическую подушкообразную форму только в высокогорьях в условиях очень низкой теплообеспеченности.

*Благодарности.* Выражаю признательность проф. Г.Н. Огуреевой и доц. И.М. Микляевой (Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова) за участие в полевых работах и ценные указания к статье, а также проф. П.Д. Гунину и акад. МАН Ч. Дугаржаву за предоставленную возможность проведения исследований в составе Совместной Российской-Монгольской комплексной биологической экспедиции.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бочарников М.В., Огуреева Г.Н., Микляева И.М. 2015. Эндемичная формация звездчатки подушечниковой (*Stellaria pulvinata* Grub.) в высокогорьях Монгольского Алтая // Аридные экосистемы. Т. 21. № 3 (64). С. 36-50. [Bocharnikov M.V., Ogureeva G.N., Miklyayeva I.M. 2015. Endemic formation of stitchwort polster (*Stellaria pulvinata* Grub.) in highlands of the Mongolian Altai // Arid Ecosystems. Vol. 5. No. 3. P. 142-153.]
- Волкова Е.А. 1994. Ботаническая география Монгольского и Гобийского Алтая // Труды Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН. Вып. 14. 131 с.
- Выходцев И.В. 1956. Вертикальная поясность растительности в Киргизии (Тянь-Шань и Алай). М.: Изд-во АН СССР. 84 с.
- Дудов С.В. 2016. Моделирование распространения видов по данным рельефа и дистанционного зондирования на примере сосудистых растений нижнего горного пояса хр. Тукурингра (Зейский заповедник, Амурская область) // Журнал общей биологии. Т. 77. № 1. С. 16-28.
- Ганболд Э. 2010. Флора Северной Монголии // Биологические ресурсы и природные условия Монголии: Труды Совместной Российской-Монгольской комплексной биологической экспедиции. М. 254 с.
- Головкова А.Г. 1990. Растительность Киргизии. Фрунзе: Илим. С. 139-148.
- Губанов И.А. 1996. Конспект флоры Внешней Монголии (сосудистые растения). М.: Изд-во «Волан». 136 с.
- Ермаков Н.Б. 2006. Анализ состава ценофлор континентальных гемибореальных лесов Северной Азии // *Turczaninowia*. Т. 9. Вып. 4. С. 5-92.
- Камелин Р.В. 1998. Материалы по истории флоры Азии (Алтайская горная страна). Барнаул: Изд-во Алтайского государственного университета. 240 с.
- Крашенинников И.М. 1958. Роль и значение Ангарского флористического центра в филогенетическом развитии основных евразиатских групп полыней подрода *Euartemisia* // Материалы по истории флоры и растительности СССР. Вып. 3. М.-Л. С. 62-128.
- Кренке А.Н., Пузаченко Ю.Г. 2008. Построение карты ландшафтного покрова на основе дистанционной информации // Экологическое планирование и управление. Т. 2. № 7. С. 10-25.
- Кучеров И.Б., Зверев А.А. 2014. Широтная географическая структура ценофлор светлохвойных лесов севера Европейской России: анализ с учетом доминирования видов // Вестник ТГУ. Серия Биология. № 2 (26). С. 53-73.
- Малышев Л.И., Пешкова Г.А. 1984. Особенности и генезис флоры Сибири (Предбайкалье и Забайкалье). Новосибирск: Наука. 264 с.
- Овчинников П.Н. 1941. *Sibbaldia tetrandra* Bge. и вопрос о происхождении криофильной растительности Средней Азии // Советская Ботаника. № 1-2. С. 145-152.
- Огуреева Г.Н. 1997. Структура и динамика растительности высокогорных экосистем Монгольского Алтая // Аридные экосистемы. Т. 3. № 6-7. С. 119-131.
- Олонова М.В., Высоких Т.С., Мезина Н.С. 2018. Структура эколого-климатических ниш *Poa palustris* L. и *P. nemoralis* L. (Poaceae) на территории Азиатской России // Сибирский экологический журнал. № 6. С. 712-723.
- Распутина Е.А., Попов Н.А., Чепинога В.В. 2018. Картографирование потенциальных ареалов видов растений на северном макросклоне хр. Хамар-Дабан (Южная Сибирь) с использованием метода биоклиматического моделирования // Геодезия и картография. Т. 79. № 9. С. 10-19.
- Седельников В.П. 1979. Флора и растительность высокогорий Кузнецкого Алатау. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 168 с.
- Седельников В.П. 1988. Высокогорная растительность Алтае-Саянской горной области. Новосибирск: Наука. 222 с.
- Телятников М.Ю., Мамахатова В.А. 2011. Синтаксономия высокогорных степей и тундр Юго-Восточного Алтая (Умерено-аридный климатический сектор) // *Turczaninowia*. Т. 14. № 4. С. 94-112.

- Beket U.* 2009. The vegetation of the Mongolian Altai. Bonn-Bad Godesberg, Germany: BfN. 318 p.
- German D.A., Wen-Li Chen, Smirnov S.V., Bing Liu, Kutzev M.G., Jian Wang, Shmakov A.I., Kamelin R.V.* 2012. Plant genera and species new to China recently found in northwest Xinjiang // Nordic Journal of Botany. No. 30 (1). P. 61-69.
- Grinnell J.* 1991. The niche-relationships of the California Thrasher // Foundation of Ecology. Chicago: The Univ. of Chicago Press. P. 118-125.
- Hijmans R.J., Cameron S.E., Parra J.L., Jones P.G., Jarvis A.* 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas // International Journal of Climatology. Vol. 25 (15). P. 1965-1978.
- Moran-Ordonez A., Suarez-Seoane S., Elith J., Calvo L., de Luis E.* 2012. Satellite surface reflectance improves habitat distribution mapping: a case study on heath and shrub formations in the Cantabrian Mountains (NW Spain) // Diversity and Distributions. Vol. 18 (6). P. 588-602.
- Ogureeva G.N., Mikljaeva I.M., Bocharnikov M.V.* 2013. The Vegetation Structure of the Mongolian Altai // Mountain Steppes Steppe ecosystems: Biological diversity, Management and Restoration. Nova Sciences Publishers. No. 5. P. 97-111.
- Phillips S.J., Dudik M.* 2008. Modeling of species distributions with MaxEnt: new extensions and a comprehensive evaluation // Ecography. Vol. 31. P. 161-175.
- Phillips S.J., Anderson R.P., Schapire R.E.* 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions // Ecological Modelling. Vol. 190. P. 231-259.
- Xue Z., Zou Y., Zhang Z., Lyu X., Jiang M., Wu H., Liu X., Tong S.* 2018. Reconstruction and future prediction of the distribution of wetlands in China // Earth's Future. No. 6. P. 1-10.

---

## СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

---

УДК 574.472; 581.524.41

### ЛЕКАРСТВЕННЫЕ РАСТЕНИЯ АРИДНЫХ И СЕМИАРИДНЫХ БИОМОВ РОССИИ<sup>1</sup>

© 2021 г. Т.В. Дикарева, В.Ю. Румянцев, М.С. Солдатов, С.М. Малхазова

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1. E-mail: tanikdik@yandex.ru

Поступила в редакцию 13.08.2020. После доработки 19.08.2020. Принята к публикации 01.09.2020

В статье анализируется набор видов лекарственных растений в аридных и семиаридных биомах России. Выявлено видовое разнообразие лекарственных растений в целом, а также применяемых для лечения заболеваний различных классов. Проведен статистический анализ связей между числом видов лекарственных растений в региональных биомах и климатическими показателями, построены соответствующие тематические картосхемы и дан их анализ. Показано, что число видов лекарственных растений связано с общим количеством видов в биомах, которое, в свою очередь, обусловлено географическим положением, определяющим среднегодовую температуру и количество осадков в регионах. Наиболее тесная связь установлена между числом видов лекарственных растений и среднегодовыми температурами воздуха. Относительно высокая связь выявлена между числом видов и среднегодовым количеством осадков. При анализе связей числа видов лекарственных растений, применяемых для лечения определенных классов болезней, с климатическими факторами, картина получилась аналогичной.

**Ключевые слова:** лекарственные растения, аридные и семиаридные биомы, климатические показатели, корреляционный анализ.

**DOI:** 10.24411/1993-3916-2021-10139

Здоровье населения в XXI веке становится одной из приоритетных ценностей каждого государства и всего мирового сообщества. Охрана здоровья населения, как показал опыт борьбы с пандемией коронавируса, является сложной комплексной проблемой, зависимой от многочисленных природных и социальных факторов. Биоразнообразие растений того или иного района играет заметную роль в формировании здоровья его населения. Растения не только сельскохозяйственного использования, но также аллергенные, ядовитые и лекарственные могут оказывать воздействие на состояние здоровья. Именно поэтому состав флоры мест проживания людей и зон отдыха очень важен при характеристике условий жизни населения.

Лекарственными называются такие растения, которые, действуя на организм больного человека или животного, блокируют развитие болезни, способствуют ликвидации причин ее возникновения и приводят в норму нарушенную функциональную деятельность отдельных органов, систем или организма в целом (Атлас ареалов ..., 1983). Такое положительное действие обуславливается содержанием в них различных биологически активных веществ. Эти вещества в растениях содержатся в очень небольших количествах. Они обладают весьма сильными специфическими свойствами. Поэтому их целебный эффект наблюдается только при строго определенных, обычно очень малых дозах, выше которых препарат становится ядом, вызывающим тяжелые отравления. Лекарственные растения используют в народной и традиционной медицине в профилактических и лечебных целях. На сегодняшний день известно более 350 тыс. видов растений, признанных лечебными (Медико-географический ..., 2019).

В работе анализируется набор видов лекарственных растений в зональных аридных и семиаридных (субаридных) биомах России. Такие биомы взяты нами как начальный регион для анализа, так как по данным некоторых исследований (Николаевский и др., 1987), именно в них наблюдается повышенное разнообразие указанной группы видов.

<sup>1</sup> Работа выполнена по теме Госзадания № АААА-А16-116032810082-6 «Разнообразие, динамика и мониторинг экосистем в условиях изменений окружающей среды».

Цель работы – выявление закономерностей распределения видового разнообразия лекарственных растений в аридных и субаридных биомах. В задачи работы входило выявление видового разнообразия лекарственных растений в целом и для различных классов заболеваний, проведение статистического анализа корреляционных связей между числом видов лекарственных растений в региональных биомах и климатическими показателями, построение соответствующих тематических картосхем и их анализ.

### Материалы и методы

В работе использованы методические приемы, апробированные авторами при анализе распространения в России аллергенных (Дикарева, Румянцев, 2015; Dikareva, Rumyantsev, 2015) и ядовитых (Дикарева и др., 2017, 2018; Dikareva et al., 2018) растений.

Исследование проводилось на основе карты «Биомы России» (Огуреева и др., 2018; Огуреева, 2016). Показанные на этой карте региональные биомы – составные части биомов планетарного уровня, отражающие зонально-региональные особенности растительного покрова России (Котова, Огуреева, 2007; Огуреева, 2012, 2016).

В анализ включено 20 региональных биомов (рис. 1; Огуреева и др., 2018). Изначально это были только равнинные зональные субаридные (субаридные) и аридные биомы (лесостепные, степные и пустынные). Из биома 27 (Днепровско-Приволжский) взята только лесостепная полоса, отделенная на карте (Огуреева и др., 2018) границей от широколиственных лесов. Из биома 49 (Саяно-Южнозабайкальский) взята только равнинная лесостепная часть – в соответствии с картой «Зоны и типы поясности растительности России и сопредельных территорий» (1999).

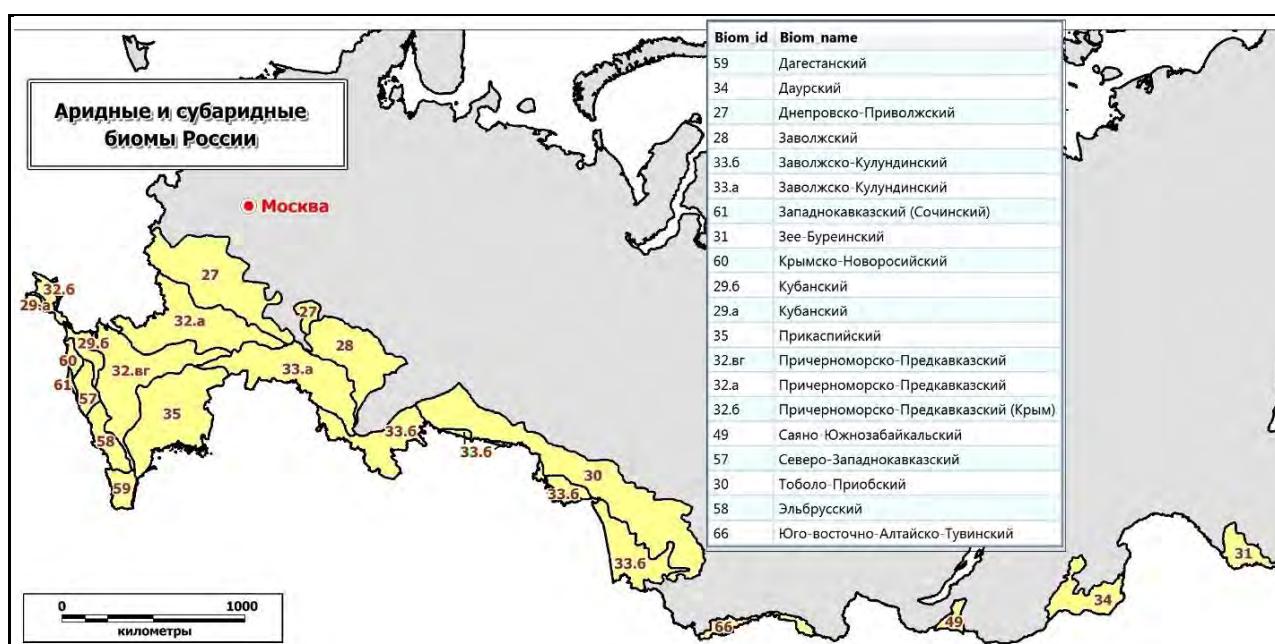
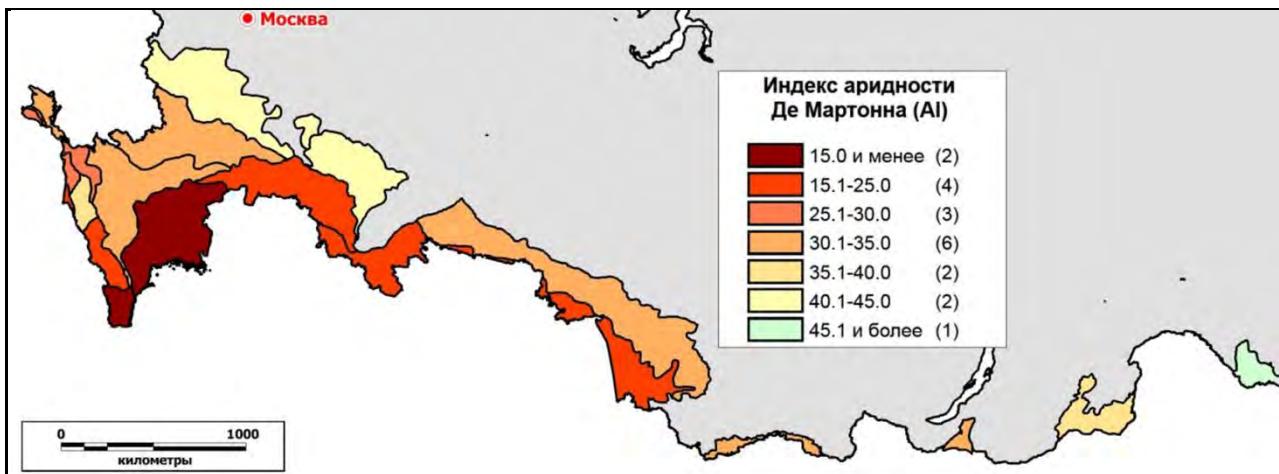


Рис. 1. Региональные биомы, включённые в анализ.

После предварительного рассмотрения и обсуждения в анализ были включены также горные биомы Кавказа и Крыма, которые традиционно аридными не считаются. Главным основанием для этого послужил расчет индекса аридности Де Мартонна (De Martonne, 1925; Справочник ..., 2016). Индекс аридности (arid index – AI; рис. 2) – частное от деления среднегодовой суммы осадков (R) на сумму среднегодовой температуры воздуха (T), увеличенной на 10, т.е.  $AI=R/(T+10)$ . Наименьшие значения индекса соответствуют наибольшей аридности. Этот индекс достаточно широко используется как за рубежом, так и в России (Казеев и др., 2015; Baltas, 2007). Данные по температуре воздуха и количеству осадков для расчета индекса аридности были взяты непосредственно с карты «Биомы России» (Огуреева и др., 2018), где для каждого биома они приведены в виде климадиаграмм. Если для биома имелось более одной климадиаграммы, значения

показателей усреднялись.

Анализ значений AI для горных биомов Кавказа и Крыма показал, что они вполне сопоставимы с таковыми для зональных субаридных биомов, нередко демонстрируя даже более существенную степень аридности (рис. 2). Тем не менее, необходимы некоторые комментарии.



**Рис. 2.** Индекс аридности Де Мартонна (здесь и на рисунках 3-8 в скобках – число биомов в данной градации).

Растительность горных биомов Кавказа и Крыма характеризуется высотной поясностью – с высотой изменяются климатические условия, что определяет облик растительности. Все эти биомы, согласно классификации (Огуреева и др., 2018), относятся к группе неморальных хвойно-широколиственных и широколиственных лесов. Но в нижних поясах северокавказских гор (500 м н.у.м. БС и выше) широко распространена растительность ксерофитного, лесостепного облика. Вследствие антропогенного влияния (выпас, сенокошение) она порой поднимается вплоть до пояса субальпийских лугов (Зоны и типы ..., 1999).

Для восточной части северных склонов Кавказа характерны предгорные пустыни, переходящие в пояс полынно-злаковых сухих степей и ксерофитных редколесий с шибляком и фрагментами грабово-дубовых лесов (300-500 м н.у.м. БС). Это пояс своеобразной ксерофитной горной лесостепи с аридными редколесьями. Выше идет пояс дубовых, грабовых, буковых лесов (500-1800 м н.у.м. БС), которые сохранились не везде и часто сочетаются с участками вторичных степей. Сходная картина распределения растительности с высотой характерна для Крымско-Новороссийского биома, где широко распространены ксерофитные редколесья в сочетании с растительностью сухих степей.

Таким образом, растительность нижних поясов гор большинства биомов Кавказа в достаточной мере соответствует понятиям «субаридные и аридные экосистемы». Несколько особняком стоит субтропический Сочинский биом, но нижний пояс гор и здесь, вследствие антропогенного воздействия, весьма разнообразен и включает, в т.ч. кустарниковые разнотравно-злаковые пустоши, поля, леса ксерофитного облика, окружающие поселения. Относительно сходные биоклиматические условия и географическая близость позволяют здесь обитать многим лекарственным растениям, свойственным и другим регионам Кавказа. Анализ сходства флоры лекарственных растений биомов Кавказа и Крыма (табл. 1), показал высокую степень их общности.

В анализ включены 214 видов лекарственных растений, согласно базе данных «Лекарственные растения России» (2019). Это только дикорастущие растения аридных и с semiаридных областей, – вид может встречаться и в культуре, но обязательно должен обитать и в дикой природе. Отдельно был проведен анализ для лекарственных растений, применяемых для лечения трех классов болезней, согласно классификации ВОЗ МК-10 (International Statistical Classification ..., 2019): *болезней органов дыхания* (10 класс) – 60 видов; *болезней системы кровообращения* (9 класс) – 70 видов; *болезней органов пищеварения* (11 класс) – 100 видов.

Данные об ареалах рассматриваемых видов получены из определителей высших сосудистых

растений (Гроссгейм, 1949; Рубцов, 1972; Губанов и др., 1995; Сосудистые растения ..., 1995), а также из некоторых атласов (Атлас ..., 1983; Агроэкологический атлас ..., 2015; Медико-географический ..., 2019). Присутствие в биоме конкретного вида растения определялось по факту вхождения хотя бы незначительной части его ареала в пределы данного выдела (регионального биома).

**Таблица 1.** Сходство флористического состава лекарственных растений субаридных биомов Крыма и Кавказа по коэффициенту Жаккара.

№	57	58	59	60	61
57	1.00	0.87	0.61	0.73	0.83
58		1.00	0.80	0.69	0.75
59			1.00	0.70	0.73
60				1.00	0.83
61					1.00

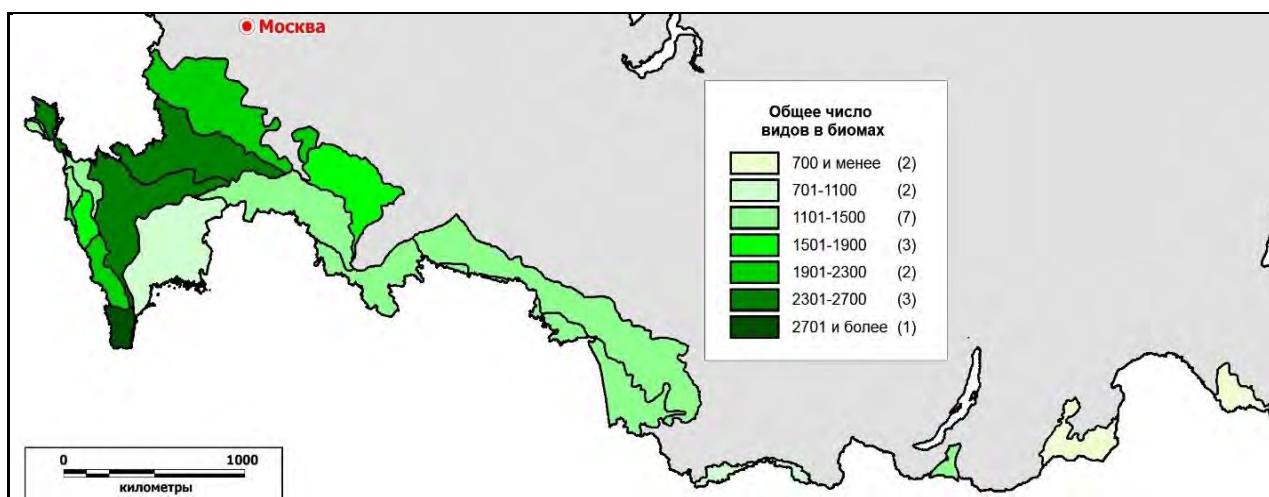
Для каждого из 20 включенных в анализ биомов были определены общее число видов лекарственных растений и число видов лекарственных растений, используемых для лечения названных выше классов болезней. Материалы средствами СУБД Visual FoxPro 9.0 организованы в компьютерную базу данных, привязанную к цифровой карте-основе в среде ГИС MapInfo 15.0 Professional. На этой основе составлена серия картосхем распределения лекарственных растений в региональных биомах России. В программе STATISTIKA 6.0 рассчитаны коэффициенты парной корреляции Пирсона, характеризующие связи числа видов лекарственных растений названных категорий с показателями, обозначенными ниже как факторы, возможно влияющие на распределение этих видов.

### Результаты и обсуждение

Было рассмотрено несколько рабочих гипотез: 1) число видов лекарственных растений зависит от общего числа видов сосудистых растений в конкретном биоме и от положения последнего в системе природной зональности территории, которая, в свою очередь, определяется важнейшими климатическими факторами, такими как среднегодовая температура воздуха и среднегодовая сумма осадков; 2) число видов лекарственных растений непосредственно связано с климатическими факторами и в меньшей степени зависит от общего числа видов в биомах; 3) максимальное число таксонов лекарственных растений свойственно наиболее аридным территориям.

В качестве факторов, вероятно влияющих на число видов лекарственных растений в биомах, приняты две группы.

1. Общее число видов сосудистых растений в биоме (взято непосредственно с карты «Биомы России»; Огуреева и др., 2018; рис. 3).



**Рис. 3.** Общее число видов сосудистых растений в биомах.

2. Климатические факторы (рис. 4), а также обсуждавшийся выше индекс аридности (рис. 2).

Всего в аридных и семиаридных биомах России, как указано выше, выделено 214 видов лекарственных растений, относящихся к 70 семействам. Наибольшее число видов включают семейства: сложноцветные (24 вида), розоцветные (19), бобовые (13), зонтичные (12), что в целом характерно для ценозов засушливых пространств – луговых степей, степей, опустыненных степей (табл. 2, 3). Относительно высокая доля орхидных (16 видов), главным образом, обусловлена их приуроченностью к сообществам горных территорий Крыма и Кавказа, а также к лесным сообществам лесостепной зоны. Относительно немного, менее 10 видов, включают семейства губоцветные (9 видов), лютиковые (9 видов) и пасленовые (8 видов). Некоторые семейства включают 3-4 вида, например, плауновые, сумаховые, бересковые и т.д. Наибольшее количество семейств (54) включают не более 1-2 лекарственных видов.

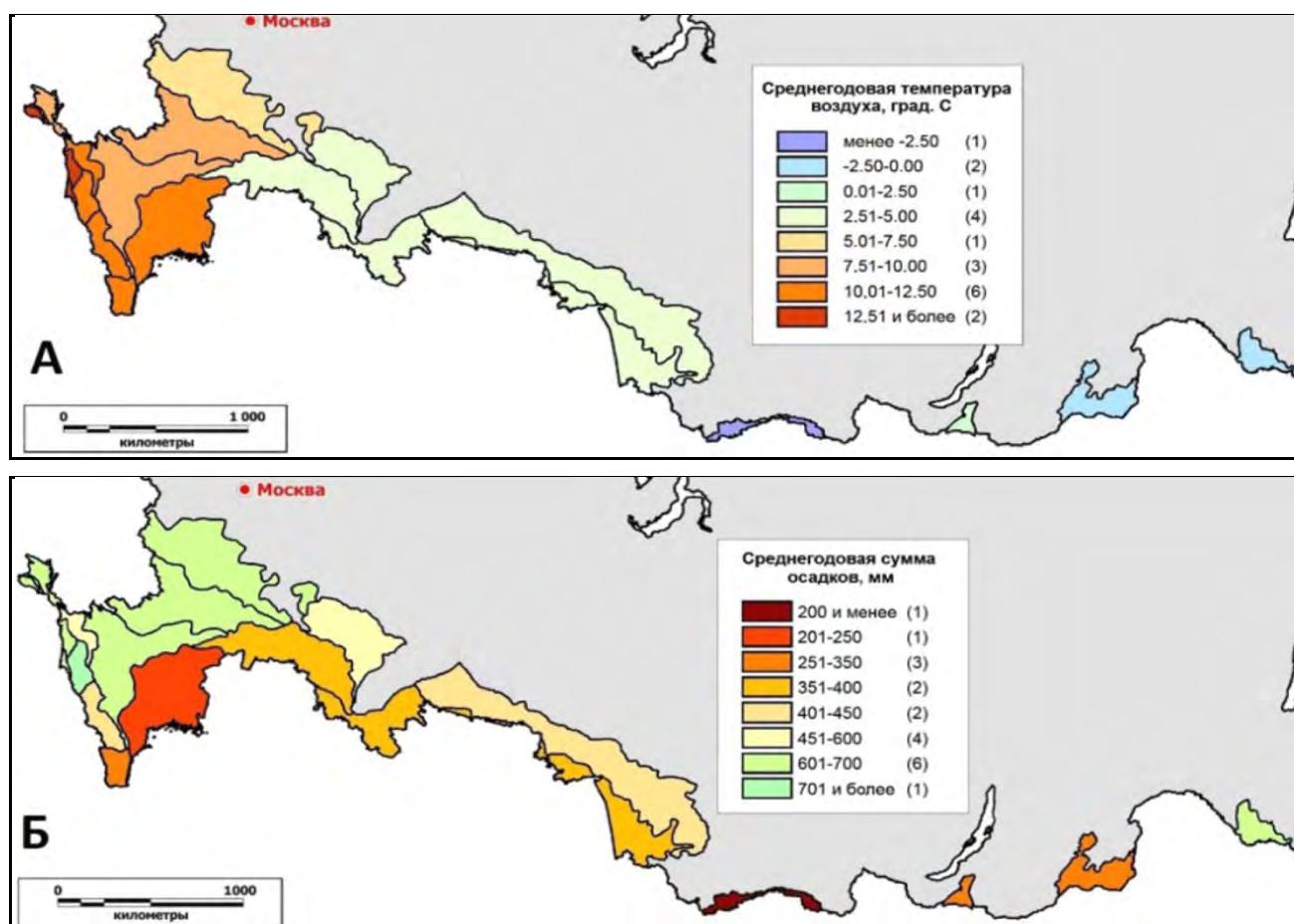


Рис. 4. Климатические факторы: а) среднегодовая температура воздуха в °С, б) среднегодовая сумма осадков в мм.

За общее число видов в биомах, приведенное в таблице 3, взято число видов, отраженное на карте биомов России (рис. 3; Огуреева и др., 2018). Наибольшее число видов отмечено для небольшого по площади Дагестанского биома (2800 видов). Несколько меньше – в Причерноморско-Предкавказском и Днепровско-Приволжском биомах. Меньше всего видов растений в восточных биомах – Даурском и Зеэ-Буриинском.

Общее количество видов лекарственных растений в биомах распределяется несколько иначе. Больше всего их отмечено в большом по площади северном Днепровско-Приволжском биоме (129). Несколько меньше, чем в указанном биоме, лекарственных растений в небольших по площади южных биомах – Крымско-Новороссийском (127) и Западно-Кавказском (Сочинском; 122). Еще меньше видов отмечено для Дагестанского биома – 111 из 214 видов лекарственных растений.

Меньше всего видов в Зее-Буриинском (58) и Даурском (59) биомах. Относительно немного лекарственных растений отмечено в опустыненном Прикаспийском биоме (69; рис. 5).

**Таблица 2.** Семейства с наибольшим числом видов лекарственных растений

Семейство	Количество видов
Apiaceae (Umbelliferae) – Зонтичные	12
Asteraceae (Compositae) – Сложноцветные	24
Fabaceae (Leguminosae) – Бобовые	13
Orchidaceae – Орхидные	16
Ranunculaceae – Лютиковые	9
Rosaceae – Розоцветные	19
Solanaceae – Пасленовые	8

**Таблица 3.** Число видов лекарственных растений и всех сосудистых растений в биомах.

№ биома на карте	Название биома	Число видов лекарственных растений в биоме	Общее число видов сосудистых растений в биоме
27	Днепровско-Приволжский	129	2300
28	Заволжский	120	1880
29.а	Кубанский	107	1150
29.б	Кубанский	106	1150
30	Тоболо-Приобский	101	1450
31	Зее-Буреинский	58	480
32.а	Причерноморско-Предкавказский	116	2350
32.б	Причерноморско-Предкавказский (Крым)	83	2350
32.вг	Причерноморско-Предкавказский	98	2350
33.а	Заволжско-Кулундинский	78	1350
33.б	Заволжско-Кулундинский	89	1350
34	Даурский	58	655
35	Прикаспийский	69	1050
49	Саяно-Южнозабайкальский	64	1500
57	Северо-Западнокавказский	114	1900
58	Эльбрусский	109	2300
59	Дагестанский	111	2800
60	Крымско-Новоросийский	127	1415
61	Западнокавказский (Сочинский)	122	1850
66	Юго-восточно-Алтайско-Тувинский	66	1075

Можно предположить, что число видов лекарственных растений связано как с общим количеством видов в биомах, которое, в свою очередь, обусловлено географическим положением, определяющим климатические показатели в региональных биомах, так и собственно с этими показателями (табл. 4).

Были рассчитаны коэффициенты парной корреляции Пирсона для пар:

- Общее число видов сосудистых растений в биомах ↔ Индекс аридности.
- Общее число видов сосудистых растений в биомах ↔ Среднегодовая температура воздуха (°C).
- Общее число видов сосудистых растений в биомах ↔ Среднегодовое количество осадков (мм)
- Число видов лекарственных растений ↔ Индекс аридности.

- Число видов лекарственных растений ↔ Среднегодовая температура воздуха (°C).
  - Число видов лекарственных растений ↔ Среднегодовое количество осадков (мм).
- Результаты проделанного анализа приведены в таблице 5.

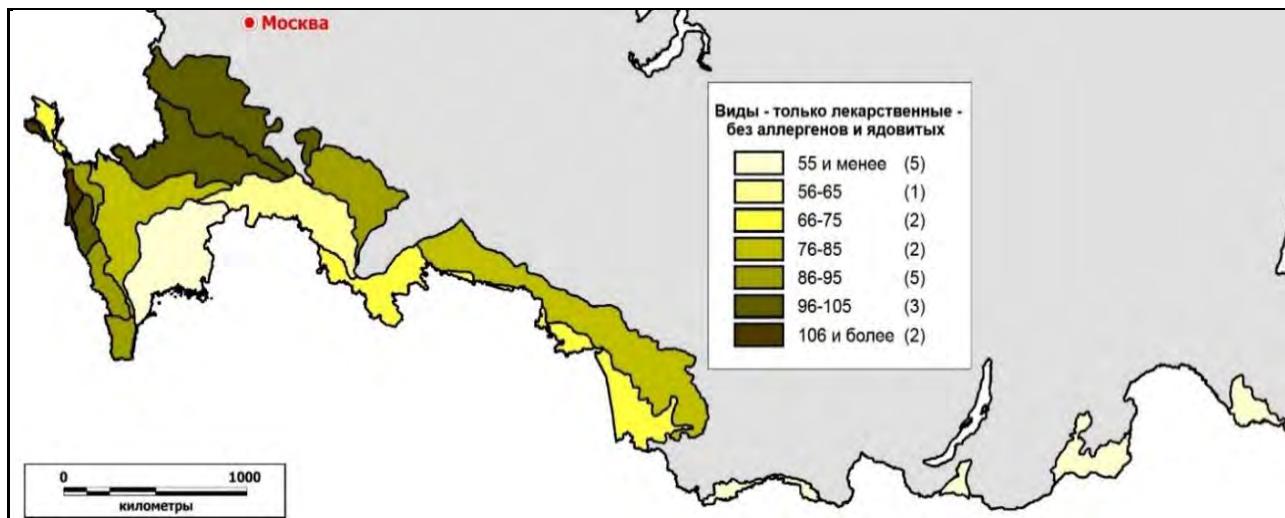


Рис. 5. Количество видов лекарственных растений в биомах.

Таблица 4. Климатические показатели в биомах.

№ биома на карте	Название биома	Среднегодовая температура, °C	Сумма осадков, мм	Индекс аридности
27	Днепровско-Приволжский	5.6	642	41.15
28	Заволжский	3.8	589	42.68
29.а	Кубанский	12.4	560	25
29.б	Кубанский	12.4	560	25
30	Тоболо-Приобский	3.2	433	32.8
31	Зее-Буреинский	-0.6	641	68.19
32.а	Причерноморско-Предкавказский	9.6	603	30.77
32.б	Причерноморско-Предкавказский (Крым)	9.6	603	30.77
32.вг	Причерноморско-Предкавказский	9.6	603	30.77
33.а	Заволжско-Кулундинский	4.7	367	24.97
33.б	Заволжско-Кулундинский	4.7	367	24.97
34	Даурский	-2.3	300	38.96
35	Прикаспийский	10	202	10.1
49	Саяно-Южнозабайкальский	0	342	34.2
57	Северо-Западнокавказский	11.8	772	35.41
58	Эльбрусский	10.5	439	21.41
59	Дагестанский	12	300	13.64
60	Крымско-Новоросийский	13.1	618	26.75
61	Западнокавказский (Сочинский)	14	574	23.92
66	Юго-восточно-Алтайско-Тувинский	-4.5	165	30

Количество видов лекарственных растений имеет довольно высокую положительную связь с общим числом видов (0.63). Таким образом, общее число видов в какой-то мере определяет и число лекарственных растений.

Наиболее тесная положительная связь установлена между числом видов лекарственных растений и среднегодовыми температурами воздуха (0.72). Относительно высокая связь (0.60) установлена между числом видов и среднегодовым количеством осадков.

Однако, что очень важно, связь между числом видов лекарственных растений и индексом аридности, который определяется соотношением значений среднегодовых температуры воздуха и суммы осадков, являясь интегральным показателем аридности территории, оказалась низкой, причем отрицательной. Отрицательность связи понятна, поскольку чем выше степень аридности территории, тем меньше значение индекса. Суть же в том, что положительны связи числа видов и со среднегодовой температурой, и с суммой осадков, которые в рамках индекса аридности являются «антагонистами». Т.е. число видов лекарственных растений в биомах мало связана с аридностью последних, что в какой-то мере противоречит результатам более ранних исследований (Николаевский и др., 1987).

**Таблица 5.** Связь количества видов растений с определяющими факторами по коэффициентам парной корреляции Пирсона.

Показатели	Факторы			
	Индекс аридности	Средняя температура, °C	Сумма осадков, мм	Все виды в биомах
Все виды в биомах	-0.32	0.50	0.29	1.00
Виды лекарственных растений в биомах	-0.22	0.72	0.60	0.63

**Примечание к таблице 5:** все корреляции значимы при  $p < 0.05$ .

Далее было рассмотрено распределение количества лекарственных растений, применяемых для лечения различных классов болезней по классификации ВОЗ (табл. 6), согласно базе данных «Лекарственные растения России» (2019).

Из таблицы 6 видно, что наибольшее число видов лекарственных растений в аридных и semiаридных биомах применяется для лечения болезней органов пищеварения, системы кровообращения и органов дыхания. Совершенно отсутствуют виды растений, применяемых для лечения таких классов болезней как: болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм; болезни уха и сосцевидного отростка; одельные состояния, возникающие в перинатальном периоде; врожденные аномалии (пороки развития), деформации и хромосомные нарушения, а также симптомы, признаки и отклонения от нормы, выявленные при клинических и лабораторных исследованиях, не классифицированные в других рубриках.

Были составлены картосхемы количества видов лекарственных растений по биомам, применяемых при лечении проанализированных классов болезней: класса 9 (болезни системы кровообращения); класса 10 (болезни органов дыхания) и класса 11 (болезни органов пищеварения; рис. 6-8).

На картосхеме распределения видов лекарственных растений, применяемых для лечения болезней системы кровообращения в рассматриваемых биомах (рис. 6), видно, что наибольшее их разнообразие наблюдается в Причерноморско-Предкавказском, Крымско-Новороссийском, а также в Кубанском биомах.

Наибольшее разнообразие видов лекарственных растений, применяемых для лечения болезней органов дыхания и болезней органов пищеварения в рассматриваемых биомах (рис. 7, 8), наблюдается в Днепровско-Приволжском, Причерноморско-Предкавказском, Заволжском, а также в Дагестанском, Северо-Западнокавказском, Крымско-Новороссийском, Западнокавказском (Сочинском) и Кубанском биомах.

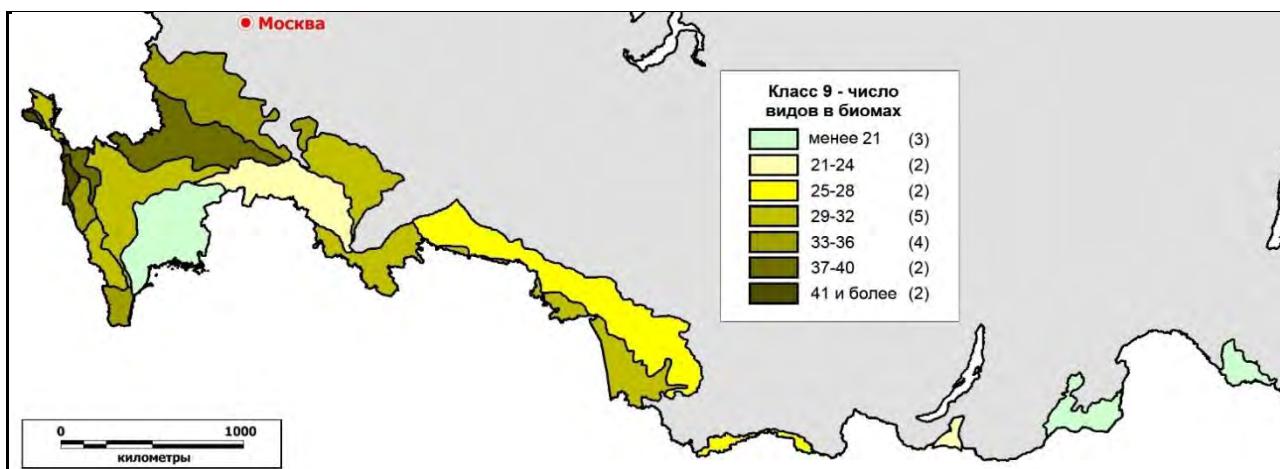
Были рассчитаны коэффициенты парной корреляции Пирсона для указанных выше классов болезней (табл. 7):

- Число видов лекарственных растений ↔ Индекс аридности;
- Число видов лекарственных растений ↔ Среднегодовая температура воздуха (°C);
- Число видов лекарственных растений ↔ Среднегодовое количество осадков (мм).

Лекарственные виды всех трех рассматриваемых классов имеют в целом очень высокую связь с общим количеством лекарственных видов в биомах (0.89-0.99).

**Таблица 6.** Распределение числа видов лекарственных растений по классам болезней по классификации ВОЗ (один вид может быть в нескольких классах).

Класс болезней	Наименование класса болезней	Число видов
1	Некоторые инфекционные и паразитарные болезни	14
2	Новообразования	9
3	Болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм	0
4	Болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ	7
5	Психические расстройства и расстройства поведения	11
6	Болезни нервной системы	35
7	Болезни глаза и его придаточного аппарата	13
8	Болезни уха и сосцевидного отростка	0
9	Болезни системы кровообращения	77
10	Болезни органов дыхания	60
11	Болезни органов пищеварения	100
12	Болезни кожи и подкожной клетчатки	33
13	Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани	21
14	Болезни мочеполовой системы	35
15	Беременность, роды и послеродовой период	13
16	Отдельные состояния, возникающие в перинатальном периоде	0
17	Врожденные аномалии (пороки развития), деформации и хромосомные нарушения	0
18	Симптомы, признаки и отклонения от нормы, выявленные при клинических и лабораторных исследованиях, не классифицированные в других рубриках	0
19	Травмы, отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин	32



**Рис. 6.** Число видов лекарственных растений, применяемых для лечения болезней системы кровообращения (класс 9) в биомах.

Наиболее тесная связь установлена между числом видов растений, применяемых для лечения болезней класса 9 (болезни системы кровообращения) и средней температурой (0.96), сравнительно высокая связь – с общим количеством видов в биомах (0.58), ниже связь с суммой осадков (0.50).

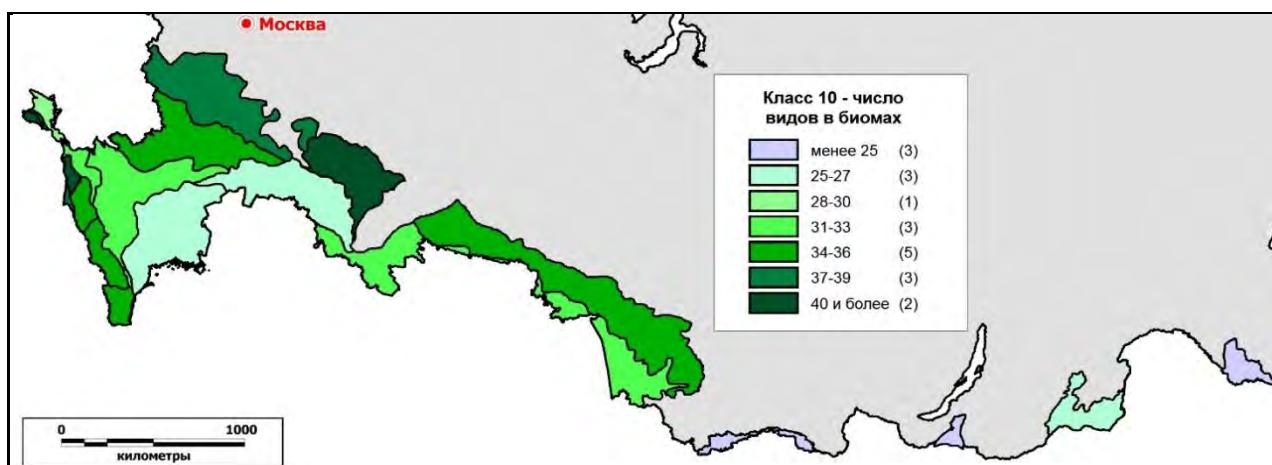


Рис. 7. Число видов лекарственных растений, применяемых для лечения болезней органов дыхания (класс 10) в биомах.

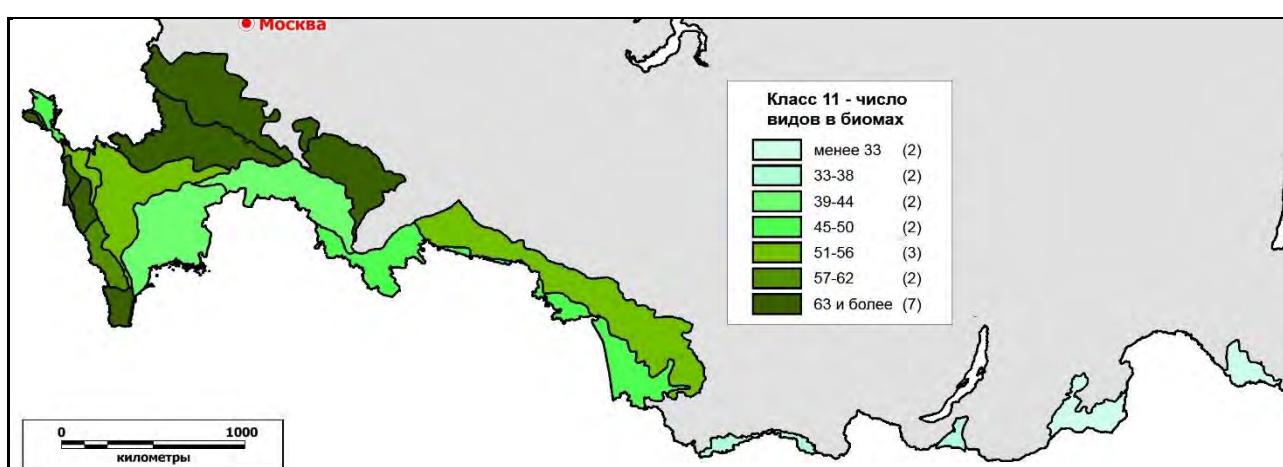


Рис. 8. Число видов лекарственных растений, применяемых для лечения болезней органов пищеварения (класс 11) в биомах.

Растения, применяемые для лечения болезней класса 10 (болезни органов дыхания), имеют высокую степень связи со средней температурой (0.63), меньше – с количеством осадков (0.55) и самую небольшую – с общим количеством видов в биомах (0.51).

Растения, применяемые для лечения болезней класса 11 (органов пищеварения), имеют довольно высокую связь с общим числом видов в биомах (0.68). Таким образом, число лекарственных растений отдельных классов связано с общим числом лекарственных видов в биомах.

Наиболее тесная связь здесь установлена между числом видов растений, применяемых для лечения болезней органов пищеварения, и среднегодовыми температурами (0.73). Относительно высокая связь установлена между числом видов и среднегодовым количеством осадков (0.54).

Однако, связь числа видов растений всех трех рассмотренных классов с индексом аридности низка и отрицательна, как это было установлено выше и для всей совокупности видов лекарственных растений. Таким образом, подтверждается отсутствие явных связей разнообразия лекарственных растений со степенью аридности территории.

Полученные результаты в целом сходны с результатами, полученными для всей совокупности видов лекарственных растений.

### Выводы

Проведенный анализ распределения лекарственных растений в сениаридных и аридных биомах показал следующее.

– В исследуемых биомах выделено 214 видов лекарственных растений. Наибольшее число видов включают семейства сложноцветные (24 вида), розоцветные (19), бобовые (13), зонтичные (12), что в целом характерно для фитоценозов открытых пространств луговых степей, степей, опустыненных степей.

– Наибольшее число видов лекарственных растений отмечено для самого большого по площади Днепровско-Приволжского биома. Менее всего таких растений отмечено для пустынного Прикаспийского биома.

– В исследуемых регионах произрастают лекарственные растения, которые используются для лечения заболеваний 5 наиболее распространенных классов болезней согласно классификации ВОЗ.

– Наибольшее число видов лекарственных растений в аридных и семиаридных биомах применяется для лечения болезней органов пищеварения, системы кровообращения и органов дыхания.

– Наибольшее разнообразие лекарственных растений, применяемых для лечения болезней системы кровообращения, наблюдается в Причерноморско-Предкавказском, Крымско-Новороссийском, а также в Кубанском биомах.

**Таблица 7.** Коэффициенты парной корреляции Пирсона для классов болезней.

Показатели	Факторы			
	Индекс аридности	Средняя температура, °C	Сумма осадков, мм	Все виды в биомах
Виды-лекарственные – класс 9	-0.33	0.96	0.50	0.58
Виды-лекарственные – класс 10	-0.17	0.63	0.55	0.51
Виды-лекарственные – класс 11	-0.31	0.73	0.54	0.68
<b>Все лекарственные виды</b>				
Виды-лекарственные – класс 9		0.89		
Виды-лекарственные – класс 10		0.96		
Виды-лекарственные – класс 11		0.99		

– Наибольшее разнообразие лекарственных растений, применяемых для лечения болезней органов дыхания и болезней органов пищеварения, отмечено для Днепровско-Приволжского, Причерноморско-Предкавказского, Заволжского биомов, для горных биомов Кавказа, а также Кубанского степного биома.

– Общее число видов лекарственных растений довольно тесно связано с общим количеством видов сосудистых растений в биомах, которое, в свою очередь, обусловлено географическим положением, определяющим среднегодовую температуру и количество осадков в биомах.

– Наиболее тесная связь установлена между общим числом видов лекарственных растений и среднегодовыми температурами воздуха. Относительно высокая связь установлена между числом видов и среднегодовым количеством осадков.

– Степень связи лекарственных болезней трех выбранных для анализа классов с климатическими показателями в целом сходна с результатами, полученными для всей группы лекарственных растений.

– Связь числа видов лекарственных растений с индексом аридности Де Мартонна очень низка – как для всей совокупности видов, так и для всех трех выбранных для анализа классов. Это позволяет заключить, что число видов лекарственных растений в биоме мало связано с его аридностью.

В дальнейшем планируется провести аналогичный анализ для других регионов России. Ближайшей задачей является также анализ распространения лекарственных растений в России в связи с изменением климатических факторов.

*Благодарности.* Авторы выражают благодарность Н.Б. Леоновой за предоставленные материалы базы данных «Лекарственные растения России». Авторы благодарны Г.В. Сурковой, оказавшей ценную консультацию по анализу климатических показателей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агроэкологический атлас России и сопредельных стран: экономически значимые растения, их вредители, болезни и сорные растения [DVD-версия]. 2008 / Ред. А.Н. Афонин, С.Л. Грин, Н.И. Дзюбенко, А.Н. Фролов [Электронный ресурс <http://www.agroatlas.ru/> (дата обращения 05.05.2020)].
- Атлас ареалов и ресурсов лекарственных растений СССР. 1983. М.: ГУГК. 340 с.
- Гроссгейм А.А. 1949. Определитель растений Кавказа. М.: Советская наука. 376 с.
- Губанов И.А., Киселева К.В., Новиков В.С., Тихомиров В.Н. 1995. Определитель сосудистых растений центра Европейской России. М.: Аргус. 560 с.
- Дикарева Т.В., Малхазова С.М., Румянцев В.Ю., Солдатов М.С. 2017. Эколого-географический анализ распространения ядовитых растений в России // Вестник Московского университета. Серия 5: География. № 4. С. 29-37.
- Дикарева Т.В., Малхазова С.М., Румянцев В.Ю., Солдатов М.С. 2018. Влияние аридных условий на распространение ядовитых растений в региональных биомах России // Аридные экосистемы. Т. 24. № 1 (74). С. 84-93. [Dikareva T.V., Malkhazova S.M., Rumyantsev V.Yu., Soldatov M.S. 2018. Effect of Arid Conditions on the Distribution of Poisonous Plants in the Regional Biomes of Russia // Arid Ecosystems. Vol. 8. No. 1. P. 64-72.]
- Дикарева Т.В., Румянцев В.Ю. 2015. Картографический анализ распространения растений-аллергенов в России // Вестник Московского университета. Серия 5: География. № 6. С. 34-40.
- Зоны и типы поясности растительности России и сопредельных стран. 1999. Карта (1:8000000) / Ред. Г.Н. Огуреева. М.: ЭКОР. 2 с.
- Казеев К.Ш., Козунь Ю.С., Колесников С.И. 2015. Использование интегрального показателя для оценки пространственной дифференциации биологических свойств почв юга России в градиенте аридности климата // Сибирский экологический журнал. № 1. С. 112-120.
- Котова Т.В., Огуреева Г.Н. 2007. Биогеографические подходы к геоботаническому картографированию // Геоботаническое картографирование. СПб.-Петрозаводск. С. 23-29.
- Лекарственные растения России. 2019 / Ред. С.М. Малхазова, И.М. Микляева, Н.Б. Леонова, В.Н. Крайнов [Электронный ресурс <https://www.biomap.ru> (дата обращения 03.05.2020)].
- Медико-географический атлас России «Целебные источники и растения». 2019. М.: Географический факультет МГУ. 304 с.
- Николаевский В.В., Еременко А.Е., Иванов И.К. 1987. Биологическая активность эфирных масел. М.: Медицина. 144 с.
- Огуреева Г.Н. 2012. Эколого-географический подход к изучению разнообразия и географии наземных экосистем // Вопросы географии. Т. 134. С. 55-77.
- Огуреева Г.Н., Леонова Н.Б., Емельянова Л.Г., Булдакова Е.В., Кадетов Н.Г., Архипова М.В., Микляева И.М., Бочарников М.В., Дудов С.В., Игнатова Е.А., Игнатов М.С., Мучник Е.Э., Урбанович Г.П., Румянцев В.Ю., Леонтьева О.А., Романов А.А., Губанов М.Н., Котова Т.В., Константинов П.И. 2018. Карта «Биомы России» (М. 1:7500000). Издание 2-е, переработанное и дополненное. М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF). 8 п.л.
- Огуреева Г.Н. 2016. Биоразнообразие оробиомов Северного Кавказа на карте «Биомы России» // Юг России: Экология, развитие. Т. 11. № 1. С. 21-36.
- Рубцов Н.И. 1972. Определитель высших растений Крыма. М.: Наука. 550 с.
- Сосудистые растения советского Дальнего Востока. 1995. В 7 томах. СПб.: Наука.
- Справочник по показателям и индексам засушливости. 2016. 53 с. [Электронный ресурс [https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO-GWP-Drought-Indices\\_ru\\_2016.pdf](https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO-GWP-Drought-Indices_ru_2016.pdf) (дата обращения 14.05.2020)].
- Baltas E. 2007. Spatial distribution of climatic indices in northern Greece // Meteorological Applications. No. 14. P. 69-78.
- De Martonne E. 1925. Traite de Geographie Physique. 11. Paris, Colin. 496 p.
- Dikareva T.V. Rumyantsev V.Yu. 2015. Distribution of Allergenic Plants in Russia // Geography, Environment, Sustainability. Vol. 8. No. 4. P. 18-25.
- International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems 10th Revision (ICD-10). 2019 [Электронный ресурс <https://icd.who.int/> (дата обращения 27.05.2020)].

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 581.526:633.2.031 (571.54)

ЛЕЙМУС КИТАЙСКИЙ (*LEYMUS CHINENSIS* (TRIN.) TZVELEV)  
В ЗАПАДНОМ ЗАБАЙКАЛЬЕ: СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ, ПРОДУКЦИЯ  
И БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ ПРОИЗРАСТАНИЯ<sup>1</sup>

© 2021 г. М.Г. Меркушева, Н.К. Бадмаева, Л.Н. Болонева, И.Н. Лаврентьева

Институт общей и экспериментальной биологии Сибирского отделения РАН  
Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6. E-mail: merkusheva48@mail.ru

Поступила в редакцию 30.12.2019. После доработки 30.08.2020. Принята к публикации 01.09.2020

Рассмотрена фитоценотическая характеристика китайсколеймусовых сообществ, произрастающих на разных типах почв луговой степи, оstepненной поймы и галофитных лугов Западного Забайкалья. В ботаническом составе выявлено 28 видов гликофитов, 17 галотолерантных гликофитов и 6 галофитов. Установлено, что род *Leymus* включает 3 вида: *Leymus chinensis*, *L. buriaticus* и *L. littoralis*. Ботанический состав леймусников Западного Забайкалья представлен 51 видами, 20 семействами и 40 родами. Виды относятся к преимущественно степному комплексу с разными вариантами ксерофитов, принадлежащими азиатскому типу ареала. В составе биоморф основная доля приходится на корневищные виды, также значительна доля малолетников. Сходство между видовыми составами леймусников находится в интервале слабое-среднее, что обусловлено значительным участием семейств и родов с малой видовой насыщенностью. Первичная продукция леймусовых сообществ составляет 1029-2370 г/м<sup>2</sup>·год, надземную фитомассу практически полностью формирует *Leymus chinensis*. Биохимический состав, кормовая ценность и протеиновое отношение сухого вещества эдификатора определяются условиями произрастания, но в целом они соответствуют нормативным показателям.

**Ключевые слова:** леймусовые сообщества, видовое разнообразие, продукция, биохимический состав, кормовая ценность, Западное Забайкалье, аридизация климата.

**DOI:** 10.24411/1993-3916-2021-10140

Род *Leymus* Hochst.<sup>2</sup> (колосняк) включает около 50 видов, из которых половина распространена на территории Азиатской России, в т.ч. в Забайкалье (Флора ..., 1990). Многие виды *Leymus* имеют большое значение как кормовые интродукенты (Asay, 1992; Wang, 1994) и потенциальные доноры полезных признаков для улучшения хлебных злаков. *Leymus chinensis* широко распространен на территории Забайкалья, Северной Монголии и Северного Китая (Wang, Zhou, 2007; Эрдэнэжав и др., 2008; Петров, Терехина, 2013), образуя сообщества в луговой степи, оstepненной пойме и на галофитных лугах. В степных сообществах Восточной Монголии этот вид является постоянным и входит во флоро-ценотическое ядро, обеспечивающее относительную устойчивость экосистем к изменяющимся условиям среды (Огуреева и др., 2019; Ариунболд, 2014).

В настоящее время проводится интенсивное исследование *Leymus chinensis* в связи с изменением его репродуктивных функций и продуктивности, предположительно, из-за длительной аридизации климата (Renzhong, Qiong, 2003; Ларина, 2004; Xu, Zhou, 2005; Бадмаева и др., 2006; Liu Gong She et al., 2004; Wang, Zhou, 2007; Байков, Липин, 2008; Липин, 2018; Zhang et al., 2018; Wang et al., 2019).

<sup>1</sup> Работа выполнена по темам НИР (Госзадание №№ АААА-A17-117011810038-7 «Эволюция, функционирование и экологобиогеохимическая роль почв Байкальского региона в условиях аридизации и опустынивания, разработка методов управления их продукционными процессами», АААА-A17-117011810036-3 «Структура разнообразия растительного покрова и ресурсный потенциал модельных видов растений в Байкальском регионе»), а также по проекту РФФИ-Бурятия № 18-416-030028 «Поиск перспективных популяций *Leymus chinensis* (Trin.) Tzvel. для введения в культуру на основе молекулярно-генетических исследований, параметров биопродуктивности и питательной ценности».

<sup>2</sup> Латинские названия растений даны по второму тому «Флоры Сибири» (1990) и «Определителю растений Бурятии» (2001).

Однако изученность леймусников в Западном Забайкалье небольшая и в основном ограничена ботаническим составом, продуктивностью наземной фитомассы и ее питательностью (Гайсенок и др., 1973; Волкова, Ляхова, 1979; Ионычева и др., 1991), т.е. исследования были проведены до периода аридизации климата.

Цель исследований – дать фитоценотическую характеристику леймусовых сообществ, определить биологическую продуктивность *Leymus chinensis* и его биохимический состав и питательность в зависимости от условий произрастания.

### Материалы и методы

Исследования проводились в 2008-2018 гг. в Хоринском, Иволгинском, Селенгинском, Джидинском и Кабанском районах Республики Бурятия. Объектом исследования являлись леймусовые сообщества, произрастающие на разных типах почв луговой степи, пойменных оstepненных и галофитных лугов, а также изучался *Leymus chinensis* как содоминант ирисовых и чиевых сообществ галоксерофитной степи (табл. 1), фитоценотическая характеристика которых приведена ранее (Меркушева и др., 2017).

Районы исследований входят в сухостепную и лесостепную (описание 12) природно-климатические зоны (Система ..., 2018), которые различаются по температурно-влажностным показателям (табл. 2). В связи с аридизацией климата увеличилась среднегодовая температура воздуха, понизилось количество осадков и их распределение по сравнению со среднемноголетними значениями. Участились засушливые вегетационные периоды, особенно же большое воздействие оказала аридизация климата на количество осадков в лесостепной зоне (Болданов, Мухин, 2019).

**Таблица 1.** Китайсколеймусовые сообщества Западного Забайкалья.

№ описания, сообщество, почва	Географические координаты, высота места	Число видов	Проективное покрытие, %		Доминанты	Содоминанты
			общее	леймуса		
<b>Удинская степь</b>						
24. Разнотравно-китайсколеймусовое, аллювиальная дерновая слоистая	52° 06' 54.46" с.ш., 109° 41' 24.30" в.д., 827 м н.у.м. БС	14	70	60	<i>Leymus chinensis</i>	<i>Carex duriuscula</i> , <i>Artemisia frigida</i> , <i>Potentilla acaulis</i>
<b>Иволгинская степь</b>						
1. Китайсколеймусовое, аллювиальная темногумусовая	51° 81' 34.4" с.ш., 107° 38' 13.5" в.д., 514 м н.у.м. БС	10	65	58	<i>L. chinensis</i>	
4. Китайсколеймусовое, солончак темный	51° 76' 87.7" с.ш., 107° 37' 52.1" в.д. 503 м н.у.м. БС	13	85	65	<i>L. chinensis</i>	
13. Твердоватоосоково-китайсколеймусовое, аллювиальная дерновая слоистая	51° 82' 84.7" с.ш., 107° 55' 96.3" в.д., 491 м н.у.м. БС	9	75	47	<i>L. chinensis</i>	<i>C. duriuscula</i>
<b>Селенгинская степь</b>						
10. Разнотравно-китайсколеймусовое, литозем светло-гумусовый	51° 41' 16.9" с.ш., 106° 56' 10.8" в.д., 650 м н.у.м. БС	14	50	10	<i>L. chinensis</i>	<i>C. duriuscula</i> , <i>P. acaulis</i> , <i>A. frigida</i> , <i>Veronica incana</i>
11. Твердоватоосоково-китайсколеймусовое, лугово-каштановая	51° 33' 87.2" с.ш., 106° 61' 75.5" в.д., 642.4 м н.у.м. БС	14	75	40	<i>L. chinensis</i>	<i>C. duriuscula</i> , <i>Achnatherum splendens</i> , <i>Leymus littoralis</i> , <i>L. buriaticus</i>

## Продолжение таблицы 1.

№ описания, сообщество, почва	Географические координаты, высота места	Число видов	Проективное покрытие, %		Доми- нанты	Содоминанты
			общее	леймуса		
21. Ирисово-китайско-леймусовое, солончак темный	51° 02' 25.8" с.ш., 106° 22' 30.4" в.д., 551 м н.у.м. БС	13	75	50	<i>Leymus chinensis</i>	<i>Iris biglumis</i>
15. Ирисо-осоково-разнотравное, лугово-каштановая солончаковая	51° 20' 40.5" с.ш., 106° 36' 28.4 в.д., 629 м н.у.м. БС	23	60	10	<i>I. biglumis</i> , <i>Carex duriuscula</i>	<i>L. chinensis</i> , <i>Stipa krylovii</i> , <i>Heteropappus altaicus</i>
<b>Кабанская лесостепь</b>						
12. Разнотравно-китайско-леймусовое, аллювиальная светлогумусовая	52° 06' 58.61" с.ш., 106° 33' 21.71" в.д., 455.6 м н.у.м. БС	15	55	25	<i>L. chinensis</i>	<i>Berteroa incana</i> , <i>Leymus buriaticus</i> , <i>C. duriuscula</i> , <i>Potentilla bifurca</i> , <i>Papaver nudicaule</i>
<b>Оронгойская степь</b>						
22. Ирисовое, солончак типичный	51° 32' 55.71" с.ш., 107° 02' 15.32" в.д., 550 м н.у.м. БС	25	40	8	<i>I. biglumis</i>	<i>L. chinensis</i>
23. Чиевое, солончак типичный	51° 32' 56.25" с.ш., 107° 02' 15.29" в.д., 551 м н.у.м. БС	14	45	10	<i>A. splendens</i>	<i>L. chinensis</i>
<b>Боргойская степь</b>						
7. Чиевое, солончак типичный	50° 74' 70.1" с.ш., 105° 83' 49.1" в.д., 640 м н.у.м. БС	14	70	21	<i>A. splendens</i>	<i>L. chinensis</i> , <i>Agropyron cristatum</i>
6. Чиевое, солончак типичный	50° 39' 18.3" с.ш., 105° 39' 67.4" в.д., 639 м н.у.м. БС	6	45	13	<i>A. splendens</i>	<i>L. chinensis</i> , <i>C. duriuscula</i>

С 2000 г. и по настоящее время наблюдается усиление аридности климата в сухостепной зоне, что связано с меньшим количеством осадков и изменением их распределения за вегетационный период по сравнению с многолетними данными. Например, испаряемость в вегетационный период (май-сентябрь) 1990-2000 гг. составляла 110 мм, в 2000-2010 гг. – 117 мм; коэффициент увлажнения по Иванову, соответственно, 0.44 и 0.33; индекс аридности Де Мартонна – 27.1 и 23.2; показатель биологической эффективности климата по Иванову – 777 и 668 (Лаврентьев и др., 2017).

Описание ботанического состава сообществ проводилось на площади 100 м<sup>2</sup>. Проективное покрытие и обилие видов определяли по методу Браун-Бланке. Видовое сходство рассчитано по коэффициенту Сёренсена и Жаккара (Миркин и др., 1989). Отношение видов к засолению установлено по конспекту флоры засоленных местообитаний (Пыхалова и др., 2013); биоморфы – по И.Г. Серебрякову (1962). Продукцию фитомассы учитывали в I декаду августа: надземную – укосным методом в 5-кратной повторности, подземную – методом монолитов с последующей отмыкой на почвенных ситах в 3-кратных повторностях.

Биохимический состав фитомассы *Leymus chinensis* определяли соответственно: содержание сухого вещества – после высушивания при 105°C; сырой клетчатки – по методу Кюршнера и Ганека в модификации А.В. Петербургского (Практикум ..., 1987); сырого жира – методом обезжиренного остатка (Практикум ..., 1987). Питательность сухого вещества рассчитывали согласно «Методическим указаниям по оценке качества и питательности кормов» (2002). Статистическую обработку данных по продуктивности выполняли в среде электронной таблицы Microsoft Excel.

### Результаты и их обсуждение

Ботанический состав изученных леймусовых сообществ представлен 51 видом, принадлежащим 20 семействам и 40 родам (табл. 3). Многовидовых семейств (5 и выше) всего 3, что составляет 56.8% от общего количества видов, и одновидовых – 27.5%, родов – 2. Выявлено 28 гликофитов, 17 галотолерантных гликофитов и 6 галофитов.

Такое соотношение видов и семейств соответствует комплексу почвенно-климатических условий (малая влагообеспеченность корнеобитаемого слоя почв, низкое содержание усвоемых питательных веществ, наличие засоленности и карбонатов с поверхности) и современному состоянию флоры при усилении аридизации климата. Большое число одновидовых семейств и родов может служить показателем экстремальных условий произрастания леймусников, в т.ч. и на солончаках. Другой причиной может являться положение региона исследований на стыке двух флористических областей: Ангаро-Саянской и Дауро-Монгольской.

**Таблица 2.** Количество осадков в районах исследования, мм.

Год	V	VI	VII	VIII	IX	Период
<b>Сухостепная зона, ГМС п. Иволгинск (51.75° с.ш., 107.20° в.д., 562 м н.у.м. БС)</b>						
2008	9	92	86	27	9	223
2009	8	64	26	54	14	166
2010	4	21	57	27	18	127
2011	15	19	67	32	8	141
2012	21	34	88	53	10	206
2013	19	35	22	26	23	125
2014	8	18	19	53	4	102
2015	17	18	38	36	41	150
2016	5	4	37	135	23	204
2017	14	19	29	10	16	98
2018	6	13	71	30	23	143
Среднемноголетняя	12	32	66	59	27	196
<b>Лесостепная зона, ГМС п. Кабанск (52.05° с.ш., 106.60° в.д., 467 м н.у.м. БС)</b>						
2009	27	135	19	52	45	278
2010	26	30	25	69	31	181
2011	47	15	129	72	27	289
2012	30	46	53	61	21	211
2013	39	43	61	44	44	231
2014	33	28	24	61	9	154
2015	27	22	42	21	108	219
2016	0	0	50	193	35	278
2017	45	28	37	11	24	145
2018	32	36	78	19	118	283
Среднемноголетняя	36	53	93	81	53	316

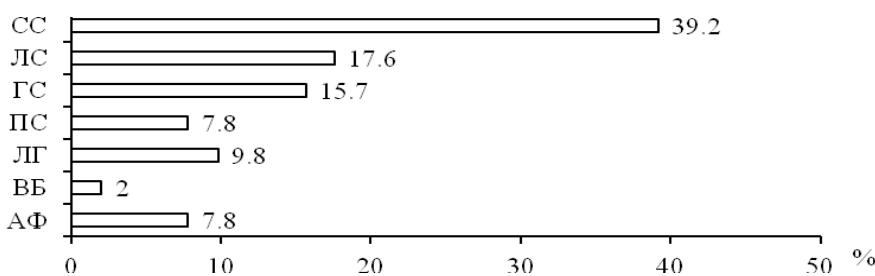
Распределение ботанического состава леймусников по поясно-зональным группам выявило, что основная часть видов относится к степному комплексу (62.7%), который представлен собственно степными, горностепными и пустынно-степными видами (рис. 1).

К собственно степным видам относятся (20): *Cleistogenes squarrosa*, *Poa botryoides*, *Stipa capillata*, *S. krylovii*, *Artemisia anetifolia*, *A. commutata*, *A. scoparia*, *A. frigida*, *Carex duriuscula*, *Iris biglumis*; к горностепным (8): *Taraxacum asiaticum*, *Potentilla acaulis*, *P. conferta*, *Allium tenuissimum*, *Orostachys spinosa*, *Papaver nudicaule*, *Veronica incana*; к пустынно-степным (4): *Achnatherum splendens*, *Neopallassia pectinata*, *Convolvulus ammanii* и *Nitraria sibirica*.

Лесостепная группа включает 9 видов: *Leymus chinensis*, *L. buriaticus*, *L. littoralis*, *Bromopsis inermis*, *Elytrigia repens*, *Hordeum brevisubulatum*, *Potentilla bifurca*, *Allium ramosum*. Луговая группа представлена 5 видами: *Puccinellia hauptiana*, *Potentilla anserina*, *Sanguisorba officinalis*, *Equisetum arvense*, *Halerpestes salsuginosa*; водно-болотная – 1 видом: *Phragmites australis*; антропогенная группа – 4 видами: *Camelina microcarpa*, *Lepidium densiflorum*, *Chenopodium album* и *Polygonum sibiricum*.

**Таблица 3.** Современное состояние фиторазнообразия леймусовых сообществ Западного Забайкалья.

Семейство	Количество	
	родов	видов
<i>Poaceae</i>	10	13
<i>Asteraceae</i>	7	11
<i>Rosaceae</i>	2	5
<i>Brassicaceae</i>	3	3
<i>Chenopodiaceae</i>	3	3
<i>Alliaceae</i>	1	2
<i>Cyperaceae</i>	1	1
<i>Scrophulariaceae</i>	1	1
<i>Rubiaceae</i>	1	1
<i>Crassulaceae</i>	1	1
<i>Ranunculaceae</i>	1	1
<i>Convolvulaceae</i>	1	1
<i>Boraginaceae</i>	1	1
<i>Iridaceae</i>	1	1
<i>Polygonaceae</i>	1	1
<i>Papaveraceae</i>	1	1
<i>Equisetaceae</i>	1	1
<i>Plumbaginaceae</i>	1	1
<i>Umbelliferae</i>	1	1
<i>Nitrariaceae</i>	1	1
<b>Всего</b>	<b>40</b>	<b>51</b>

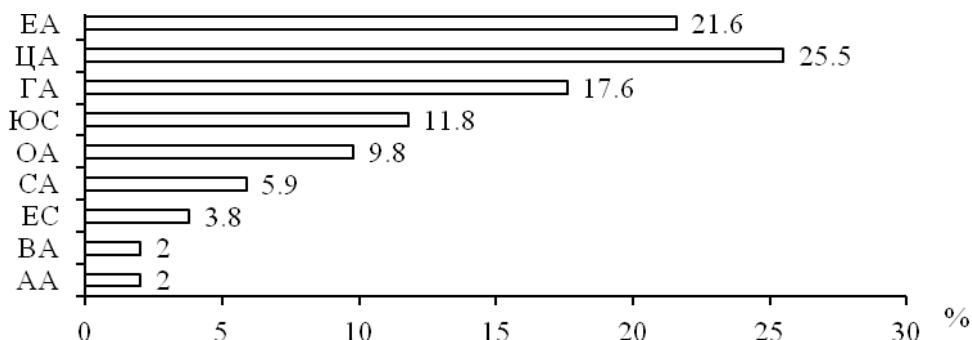


**Рис. 1.** Распределение видов растений леймусовых сообществ по поясно-зональным группам, % от общего количества видов. Условные обозначения: СС – собственно степная, ЛС – лесостепная, ГС – горностепная, ПС – пустынно-степная, ЛГ – луговая, ВБ – водно-болотная, АФ – антропофитный комплекс.

Распределение видов из сообществ леймусников по географическим группам показало, что они представлены 9 типами ареалов (рис. 2).

Евроазиатский ареал составляют 7 видов растений: *Cleistogenes squarrosa*, *Puccinellia hauptiana*, АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2021, том 27, № 1 (86)

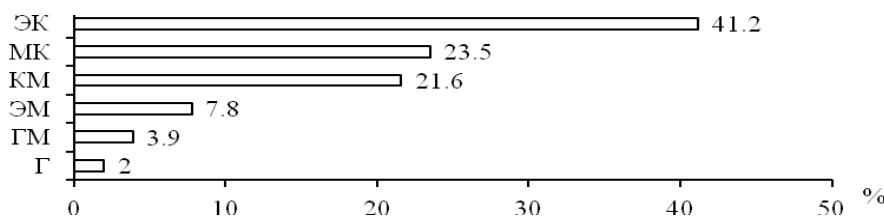
*Artemisia scoparia*, *Scorsonera austriaca*, *Berteroa incana*, *Galium verum*, *Veronica incana*; центрально-азиатский – 11: *Leymus chinensis*, *L. buriaticus*, *L. littoralis*, *Achnatherum splendens*, *Stipa krilovii*, *Heteropappus altaica*, *Saussurea amara*, *Taraxacum asiaticum*, *T. sinicum*, *Youngia tenuifolia*, *Nitraria sibirica*; голарктический – 7: *Elytrigia repens*, *Phragmites australis*, *Potentilla anserina*, *Sanguisorba officinalis*, *Chenopodium album*, *Equisetum arvense*, *Polygonum sibiricum*; южно-сибирский и монгольский – 6: *Artemisia anetifolia*, *Atriplex fera*, *Allium tenuissimum*, *Halerpestes salsuginosa*, *Iris biglumis*, *Papaver nudicaule*; общеазиатский – 5: *Hordeum brevisubulatum*, *Potentilla acaulis*, *P. conferta*, *Allium ramosum*, *Orostachys spinosa*; северо-азиатский – 3: *Poa botryoides*, *Artemisia commutata*, *Lappula anisacantha*; евросибирский – 2: *Stipa capillata*, *Potentilla bifurca*; восточно-азиатский – 1: *Bupleurum scorzonerifolium*; и американо-азиатский – 1: *Carex duriuscula*.



**Рис. 2.** Распределение видов растений леймусовых сообществ по типам ареалов, % от общего количества видов. Условные обозначения: ЕА – евроазиатский, ЦА – центрально-азиатский, ГА – голарктический, ЮС – южно-сибирский и монгольский, ОА – общеазиатский, СА – североазиатский, ЕС – евросибирский, ВА – восточно-азиатский, АА – американо-азиатский.

Виды разных групп азиатских ареалов составляют 43.2% от общего количества видов.

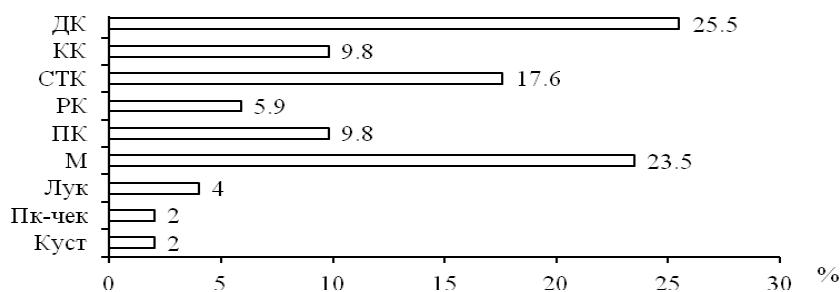
Произрастание леймусников в зоне сухих степей обуславливает широкое развитие видов ксероморфных групп, которые в общем составляют 86.3% от общего количества видов (рис. 3). Эуксерофиты представлены 21 видом: *Achnatherum splendens*, *Cleistogenes squarrosa*, *Poa botryoides*, *Stipa capillata*, *S. krilovii*, *Artemisia frigida*, *Taraxacum asiaticum*, *Carex duriuscula* и др.; мезоксерофиты – 12: *Elytrigia repens*, *Artemisia commutata*, *A. scoparia*, *Saussurea amara*, *Potentilla bifurca*, *P. conferta*, *Allium ramosum*, *A. tenuissimum* и др.; ксеромезофиты – 11: *Leymus chinensis*, *L. buriaticus*, *L. littoralis*, *Iris biglumis*, *Artemisia anetifolia*, *Taraxacum sinicum*, *Puccinellia hauptiana*, *Nitraria sibirica*; эумезофиты – 4: *Bromopsis inermis*, *Hordeum brevisubulatum*, *Sanguisorba officinalis*, *Equisetum arvense*; гигромезофиты – 2: *Potentilla anserina*, *Halerpestes salsuginosa*; гигрофиты – 1: *Phragmites australis*.



**Рис. 3.** Экологический состав видов леймусовых сообществ, % от общего количества видов. Условные обозначения: ЭК – эуксерофиты, МК – мезоксерофиты, КМ – ксеромезофиты, ЭМ – эумезофиты, ГМ – гигромезофиты, Г – гигрофиты.

Биоморфный состав леймусников характеризуется довольно широким разнообразием и вариабельностью, но основная группа видов относится к корневищным – 35.3% (рис. 4). Длиннокорневищные представлены 13 видами: *Bromopsis inermis*, *Elytrigia repens*, *Leymus chinensis*, *L. buriaticus*, *L. littoralis*, *Potentilla anserina*, *P. bifurca*, *Sanguisorba officinalis* и др.;

короткокорневищные – 5: *Heteropappus altaica*, *Saussurea amara*, *Potentilla acaulis*, *Convolvulus ammanii*, *Galium verum*; стержнекорневые – 9: *Artemisia commutata*, *Scorsonera austriaca*, *Taraxacum asiaticum*, *T. sinicum*, *Youngia tenuifolia*, *Potentilla conferta*, *Bupleurum scorzonerifolium*, *Goniolimon speciosum*, *Papaver nudicaule*; рыхлокустовые – 3: *Hordeum brevisubulatum*, *Poa botryoides*, *Cleistogenes squarrosa*; плотнокустовые – 3: *Achnatherum splendens*, *Puccinellia hauptiana*, *Stipa capillata*, *S. krilovii*, *Iris biglumis*; малолетники – 12: *Artemisia anetifolia*, *A. scoparia*, *Neopallassia pectinata*, *Berteroa incana*, *Atriplex fera*, *Chenopodium album*, *Salsola colina*, *Lappula anisacantha*, *Polygonum sibiricum* и др.; луковичные – 2: *Allium ramosum*, *A. tenuissimum*; полукустарнички – 1: *Artemisia frigida*; кустарнички – 1: *Nitraria sibirica*.



**Рис. 4.** Распределение видов растений леймусовых сообществ по биоморфам, % от общего количества видов. Условные обозначения: ДК – длиннокорневищные, КК – короткокорневищные, СТК – стержнекорневые, РК – рыхлокустовые, ПК – плотнокустовые, М – малолетники (одно- и двулетники), Лук – луковичные, Пк-чек – полукустарнички, Куст – кустарнички.

В сообществах преобладают многолетние виды, относящиеся к разным биоморфам. Выделены 2 группы биоморф, различающиеся по вегетативной подвижности. Доля вегетативно неподвижных видов – стержнекорневых, плотнокустовых и рыхлокустовых составляет 26.7%. Эта группа видов характерна для степей и способна использовать воду из разных горизонтов почв. Следует отметить, что рыхлокустовые виды слабоустойчивы к природным и антропогенным стрессам (Ариунболд, 2014). Другую группу формируют вегетативно подвижные и слабо подвижные виды, которые предпочитают относительно легкие субстраты. Их доля равна 37.8% от общего числа видов: длиннокорневищные – 26.7% и короткокорневищные – 11.1%. Остальные биоморфы многолетников представлены 1-3 видами: луковые, полукустарнички и кустарнички. Относительно большая доля (26.7%) малолетников может служить показателем неустойчивости и динамики экологических условий произрастания леймусовых сообществ (изменение количества и режима выпадения осадков, динамики пастбищной нагрузки).

Основную долю корней разнотравно-китайсколеймусового сообщества составляют средние и мелкие корни – 38% (Меркушева и др., 2009). Содержание живых (28%) и мертвых (72%) корней по фракциям подземной фитомассы в сообществе подтвердило закономерность, общую для травяных биогеоценозов, о недолговечности и постоянном обновлении мелких корней, которые являются стабильным и существенным источником пополнения органического вещества почвы. Фракция мелких корней на 92-98% гумифицирована.

Анализ значений коэффициентов сходства по Сёренсену и Жаккару выявил преимущественно слабое или среднее сходство видового состава леймусовых сообществ (табл. 4). Это характеризует сообщества как экологически гетерогенные (Королюк, 2013), что обусловлено преобладанием одновидовых семейств и родов.

Величина продуктивности изученных нами леймусовых сообществ оценена по 10-балльной шкале Н.И. Базилевич (1993) как малопродуктивная, а по Р. Уиттекеру (1980) – нормальная. Последняя оценка является наиболее объективной для леймусников Западного Забайкалья. Доля надземной фитомассы составляет 3.9-9.0% от общей первичной продуктивности (табл. 5). В слое почв 0-10 см сконцентрировано от 80.4 до 92.7% от подземной фитомассы. Варьирование этого показателя обусловлено почвенно-экологическими условиями, в т.ч. разным проективным покрытием и различными биоморфами слагающих сообщество видов. Первичная продукция

леймусовых сообществ составляет 92.8-99.1% от общих запасов фитомассы.

**Таблица 4.** Показатели видового сходства леймусовых сообществ по коэффициенту Сёренсена (над чертой) и по коэффициенту Жаккара (под чертой).

Номер описания	1	4	10	11	12	13
1		26.1	33.3	41.7	40.0	52.6
4	21.1		15.4	29.6	28.6	31.6
10	20.0	12.5		22.2	21.4	27.3
11	26.3	12.5	12.0		41.4	52.2
12	25.0	16.7	11.5	26.1		58.3
13	35.7	22.2	21.1	43.8	47.2	

**Таблица 5.** Биологическая продуктивность фитомассы леймусовых сообществ, г/м<sup>2</sup>·год.

№ описания, сообщество, почва	Первичная продукция			Надземная подземная
	надземная	подземная	общая	
<b>Удинская степь</b>				
24. Разнотравно-китайсколеймусовое, аллювиальная дерновая слоистая	<u>117±9</u> 105±4	1755±88	1872	1:15
<b>Иволгинская степь</b>				
1. Китайсколеймусовое, аллювиальная темногумусовая	<u>117±9</u> 116±9	1178±93	1295	1:10
4. Китайсколеймусовое, солончак темный	<u>145±13</u> 144±13	2050±399	2195	1:14
13. Твердоватосоково-китайсколеймусовое, аллювиальная слоистая гумусовая	<u>93±9</u> 93±9	2277±80	2370	1:24
<b>Селенгинская степь</b>				
10. Разнотравно-китайсколеймусовое, литозем светлогумусовый	<u>107±20</u> 49±4	2035±215	2142	1:19
11. Твердоватосоково-китайсколеймусовое, лугово-каштановая	<u>123±15</u> 122±21	1691±387	1814	1:14
21. Ирисово-китайсколеймусовое, солончак темный	<u>130±8</u> 66±4	1693±101	1823	1:13
<b>Кабанская лесостепь</b>				
12. Разнотравно-китайсколеймусовое, аллювиальная светлогумусовая	<u>67±3</u> 60±4	962±119	1029	1:14

**Примечания к таблице 5:** над чертой – данные для сообщества, под чертой – для надземной фитомассы леймуса.

В период до аридизации надземная продукция леймусников (Зарубин, Фролова, 1973) составляла в среднем 124 г/м<sup>2</sup> (81-158 г/м<sup>2</sup>). В настоящее время эта величина несколько снизилась, 117 г/м<sup>2</sup> (93-145 г/м<sup>2</sup>). Между сообществами разница в максимальной и минимальной надземной фитомассе составляет 2.2 раза.

Эдификатор *Leymus chinensis* практически полностью формирует надземную продукцию сообществ, кроме разнотравно-китайсколеймусового сообщества (описание 10), где его доля составляет 45.6%. Это обусловлено особенностями экологических условий (берег оз. Щучье), повышающих влажность воздуха приземистых слоев и способствующих развитию других видов.

Разная величина отношения надземной к подземной фитомассе характеризует разнообразие видового и биоморфного составов, плотности травостоя, а также степень воздействия внешних

факторов (засоление, выпас, рекреация).

Ботанический состав сообществ, особенности вегетации видов, почвенно-экологические условия во многом определяют качество травяного корма, вследствие значительных различий химического состава отдельных семейств и видов растений, их поедаемости и других показателей. По нашим данным (табл. 6), биохимический состав и кормовая ценность *Leymus chinensis* зависела от условий произрастания. Например, *L. chinensis* (описание 4), произрастающий на солончаке темном, характеризовался пониженным содержанием практически всех показателей по сравнению с другими сообществами на незасоленных почвах Иволгинской и Селенгинской степей. Это же свойственно и *L. chinensis*, произрастающему в Кабанской лесостепи, однако факторы, обуславливающие низкие показатели кормовой ценности, связаны с повышенным количеством осадков и влажности почв по сравнению со степными условиями.

**Таблица 6.** Биохимический состав и кормовая ценность *Leymus chinensis*.

№ описания, сообщество	Сырой протеин	Сырая клетчатка	Сырой жир	БЭВ	Корм. ед., в 1 кг	Обменная энергия, МДж/кг	Протеи- новое отношение
	%						
<b>Удинская степь</b>							
24. Разнотравно-китайсколеймусовое	11.04	29.11	2.90	50.21	0.66	8.58	1:9.4***
<b>Иволгинская степь</b>							
1. Китайсколеймусовое	17.44	30.57	4.76	41.39	0.60	9.60	1:4.7*
4. Китайсколеймусовое	12.62	33.07	4.06	43.03	0.51	8.68	1:6.8**
13. Твердоватоосоково-китайсколеймусовое	23.00	24.43	5.36	39.57	0.91	10.87	1:3.3*
<b>Селенгинская степь</b>							
10. Разнотравно-китайсколеймусовое	17.44	27.61	3.53	44.33	0.73	9.73	1:4.6*
11. Твердоватоосоково-китайсколеймусовое	14.94	34.67	3.19	40.94	0.46	9.03	1:5.5*
21. Ирисово-леймусовое	5.38	41.2	2.37	46.61	0.29	7.22	1:18.5***
15. Ирисово-осоково-разнотравное	12.44	27.81	3.82	47.53	0.72	8.87	1:7.8**
<b>Кабанская лесостепь</b>							
12. Разнотравно-китайсколеймусовое	10.94	32.99	3.95	47.11	0.51	8.41	1:8.2***
<b>Оронгойская степь</b>							
22. Ирисовое	12.25	33.15	3.96	44.75	0.51	8.62	1:8.1***
23. Чиевое	9.19	32.15	2.76	49.79	0.54	8.14	1:10.7***
<b>Боргойская степь</b>							
7. Чиевое	8.12	30.32	3.05	52.40	0.61	8.02	1:12.2***
6. Чиевое	7.96	28.21	2.94	54.92	0.70	8.09	1:12.5***
Медиана	12.25	30.57	3.53	46.61	0.62	8.62	1:8.1
Нормы концентраций в растительном корме	10-11	22-30	—	—	0.64-0.70	8.4-8.9	1:8-10

**Примечания к таблице 6:** \* – узкое, \*\* – среднее, \*\*\* – широкое.

Следует отметить более высокое содержание сырого протеина и сырого жира в сухом веществе леймуса по сравнению с их величинами в леймусниках до аридизации, 7.02-10.8% и 1.31-1.96% соответственно (Зарубин, Фролова, 1973). Возможно, это связано с адаптационным приспособлением

этого вида к длительной аридизации, что вызывает его вегетативное размножение за счет снижения генеративного, т.е. повышенные запасы питательных веществ обуславливают энергию вегетативного роста и размножения. Эти же причины влияют на протеиновое отношение, которое является показателем переваримости питательных веществ. Существует градация значений протеинового отношения: при его величине  $<1:6$  – узкое, при  $1:6-8$  – среднее,  $>1:8$  – широкое. Растущие животные лучше переваривают корма и усваивают питательные вещества при узком протеиновом отношении, взрослые – при нормальном ( $1:8-10$ ). При более широком отношении переваримость корма ухудшается. По нашим данным, согласно медиане содержание питательных биохимических соединений и протеиновые отношения в основном соответствуют нормативам концентрации в растительном корме, кроме *Leymus chinensis*, растущего в сообществах галоксероморфной степи и ирисово-леймусовом сообществе на солончаке темном.

### Выводы

Ботанический состав леймусников Западного Забайкалья представлен 51 видом, 20 семействами и 40 родами. Род *Leymus* включает 3 вида: *L. chinensis*, *L. buriaticus*, *L. littoralis*. По числу входящих в леймусовые сообщества видов растений выделены 3 ведущих семейства (*Poaceae*, *Asteraceae*, *Rosaceae*), охватывающие 56.8% от общего числа видов и отражающие комплекс почвенно-климатических условий степей. В сообществах число видов варьирует от 9 до 15. Общее проективное покрытие леймусовых сообществ варьирует от 55 до 85%, а покрытие эдификатора – от 10 до 65%.

Видовой состав леймусников представлен преимущественно степным комплексом с разными вариантами ксерофитов, принадлежащими азиатскому типу ареала. В составе биоморф основная доля приходится на корневищные виды, также значительна доля малолетников. Сходство между видовыми составами леймусников находится в интервале слабое-среднее, что обусловлено значительным участием семейств и родов с малой видовой насыщенностью.

Первичная продукция леймусовых сообществ составляет  $1029-2370 \text{ г}/\text{м}^2\cdot\text{год}$ , надземную фитомассу практически полностью формирует *L. chinensis*. Биохимический состав, кормовая ценность и протеиновое отношение эдификатора определяются условиями произрастания, но в целом соответствует нормативным показателям.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ариунболд Э.* 2014. Динамика растительных сообществ сухих степей Средней Халхи (Сомон Баян-Унджул, Монголия). Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. СПб. 21 с.
- Бадмаева Н.К., Яблонская Е.С., Агафонов А.В.* 2006. Изменчивость диагностических признаков в Сибирских популяциях комплекса *Leymus ramosus*, *L. chinensis* // II Сибирский ботанический вестник. Т. 1. Вып. 1. С. 59-63.
- Базилевич Н.А.* 1993. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. М.: Наука. 293 с.
- Байков К.С., Липин А.С.* 2008. Направления эволюции морфологических признаков видов рода *Leymus* (*Poaceae*) во флоре Азиатской России // Вестник Томского государственного университета. № 3. С. 169-172.
- Болданов Т.А., Мухин Г.Д.* 2019. Экологическая адаптация сельскохозяйственного землепользования в условиях изменения климата в Республике Бурятия // Аридные экосистемы. Т. 25. № 1 (78). С. 10-19. [Boldanov T.A., Mukhin G.D. 2019. Ecological Adaptation of Agricultural Land Use Under Climate Change in the Republic of Buryatia // Arid Ecosystems. Vol. 9. No. 1. P. 7-14].
- Волкова А.И., Ляхова И.Г.* 1979. Луга поймы нижнего течения реки Джиды // Кормовые угодья и леса Средней Сибири и Забайкалья. Иркутск. С. 79-84.
- Гайсенок О.С., Ивельская В.И., Новак Л.В.* 1973. Флористическая и геоботаническая характеристика луговой растительности долины нижнего течения реки Селенги // Эколого-биологическая и хозяйственная характеристика степных и луговых растительных сообществ Забайкалья. Улан-Удэ. С. 198-206.
- Гунин П.Д., Бажса С.Н., Данжалова Е.В., Цэрэнханд Г., Дробышев Ю.И., Ариунболд Э.* 2010. Современная структура и динамика растительных сообществ на южной границе сухих степей Центральной Монголии // Аридные экосистемы. Т. 16. № 2. С. 65-75.
- Зарубин А.М., Фролов М.В.* 1973. Биологическая продуктивность надземной части природных кормовых угодий южной части Бурятии // Эколого-биологическая и хозяйственная характеристика степных и луговых растительных сообществ Забайкалья. Улан-Удэ. С. 115-122.
- Ионычева М.П., Зарубин А.М., Фролова М.В.* 1991. Луговая растительность бассейна реки Уды // Ресурсы растительного покрова Забайкалья и их использование. Улан-Удэ: БНЦ СО РАН. С. 34-47.
- Королюк А.Ю.* 2013. Экологическая ординация степных сообществ Забайкалья // Ученые записки

- Забайкальского государственного университета. Серия: Естественные науки. № 1 (48). С. 26-30.
- Лаврентьева И.Н., Меркушева М.Г., Убугунов Л.Л.* 2017. Оценка запасов органического углерода и потоков CO<sub>2</sub> в травяных экосистемах Западного Забайкалья // Почвоведение. № 4. С. 411-426.
- Ларина Н.П.* 2004. Эколо-биологические особенности ксерофитных злаков (*Bromopsis inermis*, *Stipa capillata*, *Leymus chinensis*) в условиях Восточного Забайкалья. Дисс. ... канд. биол. наук. Иркутск. 131 с.
- Липин А.С.* 2018. Род *Leymus* (*Poaceae*) в Азиатской России: систематика, хорология, филогения. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Новосибирск. 16 с.
- Меркушева М.Г., Балданова А.Л., Болонева Л.Н., Лаврентьева И.Н.* 2017. Фитоценотическая характеристика чиевых сообществ (*Achnatherum Splendens* (Trin.) Nevski) Западного Забайкалья // Аридные экосистемы. Т. 23. № 1 (70). С. 40-50. [Merkusheva M.G., Baldanova A.L., Boloneva L.N., Lavrent'eva I.N. Phylogenetic characteristic of the *Achnatherum splendens* (trin.) Nevski communities of western Transbaikalia // Arid Ecosystems. Vol. 7. Pp. 31-40].
- Меркушева М.Г., Убугунов Л.Л., Убугунова В.И., Болонева Л.Н., Бадмаев А.Б., Лаврентьева И.Н., Эрдэнэжав Г., Кривобоков Л.В., Дорошевич С.Г.* 2009. Продукционные процессы в пойменных фитоценозах бассейна р. Селенги. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН. 394 с.
- Методические указания по оценке качества и питательности кормов. 2002. М.: ЦИНАО. 76 с.
- Миркин Б.М., Розенберг Г.С., Наумова Л.Г.* 1989. Словарь понятий и терминов современной фитоценологии. М.: Наука. 223 с.
- Огуреева Г.Н., Жаргалсайхан Л., Каримова Т.Ю., Микляева И.М.* 2019. Изменение ботанического разнообразия разнотравно-дерновиннозлаковых степей Восточной Монголии за одиннадцатилетний период (2008-2018 гг.) // Аридные экосистемы. Т. 25. № 4 (81). С. 52-60. [Ogureeva G.N., Zhargalsaihan L., Karimova T.Yu., Miklyeva I.M. 2019. Variations in the Botanical Diversity of Forbs-Bunchgrass Steppes of Eastern Mongolia over an 11-Year Period (2008-2018). 2019 // Arid Ecosystems. Vol. 9. No. 4. P. 257-263.]
- Определитель растений Бурятии. 2001 / Ред. О.А. Аненхонов. Улан-Удэ. 672 с.
- Петров К.М., Терехина Н.В.* 2013. Степи Забайкальской провинции // Растительность России и сопредельных стран. СПб.: Химиздат. С. 211-214.
- Практикум по агрохимии. 1987 / Ред. Б.А. Ягодин. М.: Агропромиздат. 512 с.
- Пыхалова Т.Д., Аненхонов О.А., Бадмаева Н.К., Найданов Б.Б.* 2013. Конспект флоры засоленных местообитаний Западного Забайкалья // Известия ИГУ. Т. 6. № 1. С. 86-101.
- Серебряков И.Г.* 1962. Экологическая морфология растений и их изучение. М.: Высшая школа. 378 с.
- Система земледелия Республики Бурятия: научно-практические рекомендации. 2018 /Ред. А.П. Батудаева. 2-е изд., перераб. и доп. Улан-Удэ: Изд-во БГСХА им. В.Р. Филиппова. 349 с.
- Үүттөкөр Р.* 1980. Сообщества и экосистемы. М.: Прогресс. 326 с.
- Флора Сибири. *Poaceae (Gramineae)*. 1990 / Сост. Г.А. Пешкова, О.Д. Никифорова, М.Н. Ломоносова и др. В 14 т. Новосибирск: Наука. Т. 2. 361 с.
- Эрдэнэжав Г., Убугунов Л.Л., Убугунова В.И., Калибернова Н.М.* 2008. Пойменные луга Северной Монголии. М.: Товарищество научных изданий. 240 с.
- Asay K.H.* 1992. Breeding potentials in perennial *Triticeae* grasses // Hereditas. Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Triticeae Symposium, Helsingborg, Sweden. Off print. Vol. 116.1. P. 167-173.
- Liu Gong She, D.M. Qi, Qing-Yan Shu.* 2004. Seed germination characteristics in the perennial grass species *Leymus chinensis* // Seed Science and Technology. Vol. 32. Is. 3. P. 717-725.
- Renzhong W., Qiong G.* 2003. Climate-driven changes in shoot density and shoot biomass in *Leymus chinensis* (*Poaceae*) on the North-East China transect (NECT) // Journal of Biogeography. Vol. 12. No. 3. P. 249-259.
- Wang G., Wang P., Wang T.-Y., Zhang Y.-C., Yu J.-J., Ma N., Frolova N.L., Liu C.-M.* 2019. Contrasting changes in vegetation growth due to different climate forcing over the last three decades in the Selenga-Baikal basin // Remote Sensing. Vol. 11. Is. 426. P. 1-17.
- Wang R. R.-C., von Bothmer R., Dvorak J., Fedak G., Linde-Laursen I., Muramatsu M.* 1994. Genome symbols in the *Triticeae* (*Poaceae*) // Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Triticeae Symposium. Logan, Utah, USA. P. 29-34.
- Wang Y., Zhou G.* 2007. Modeling responses of the meadow steppe dominated by *Leymus chinensis* to climate change // Climatic Change. Vol. 82. No. 3-4. P. 437-452.
- Xu Z.Z., Zhou G.S.* 2005. Effects of water stress on photosynthesis and nitrogen metabolism in vegetative and reproductive shoots of *Leymus chinensis* // Photosynthetica. Vol. 43. No. 1. P. 29-35.
- Yuan F., Wu J.-G., Han X.-G., Ge J.-P.* 2008. Net primary productivity of *Leymus Chinensis* steppe in Xilin river basin of Inner Mongolia and its responses to global climate change // Chinese Journal of Applied Ecology. Vol. 19. Is. 10. P. 2168-2176.
- Zhang B., Chen H.-J., Hou X.-Y., Ma H.-L., Fang Q.-E., Hua L.-M., Jiang J., Shi Sh.-L., Zhang D.-G., Zhao G.-Q., Han W.-J., Vishnyakova O., Ubugunov L.* 2018. Latitudinal variation in reproductive performance of *Leymus chinensis*: implications for its response to future climate warming // Plant Ecology & Diversity. Vol. 11. Is. 3. P. 363-372.

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 581.4:55

**ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОПУЛЯЦИЙ *TULIPA LEHMANNIANA MERCKLIN*  
В УСЛОВИЯХ ПУСТЫНИ КЫЗЫЛКУМ (УЗБЕКИСТАН)**

© 2021 г. Х.Ф. Шомуродов, О.С. Абдураимов, Б.А. Адилов

Институт Ботаники Академии наук Республики Узбекистан  
Узбекистан, 100053, г. Ташкент, ул. Дурмон йули, д. 32. E-mail: h.shomurodov@mail.ru

Поступила в редакцию 13.09.2019. После доработки 20.12.2019. Принята к публикации 01.09.2020

Изученные ценопопуляции *Tulipa lemanniana* Merckl. оценены как нормальные, полночленные, за исключением тамдынской популяции, где отсутствует старческая фракция. Комплекс детерминирующих признаков ценопопуляций с высокими коэффициентами вариации включает плотность особей, проективное покрытие, ширину нижнего листа. Ценопопуляции представляют собой жизнеспособные, устойчивые, целостные, самоподдерживающиеся системы, способные к самовозобновлению как генеративным, так и вегетативным путем.

*Ключевые слова:* *Tulipa lemanniana*, Liliaceae, Кызылкум, распространение, ценопопуляция.

**DOI: 10.24411/1993-3916-2021-10141**

Род *Tulipa* L.<sup>1</sup> – один из наиболее крупных родов в семействе Liliaceae Juss. Его ареал имеет огромную протяженность с запада на восток от Португалии и северных районов Африки через весь евразийский континент до южных островов Японии (Баранова, 1999). Средняя Азия является центром происхождения и основания видового разнообразия видов рода *Tulipa* L. По данным А.И. Введенского и С.С. Ковалевской (1971), в Средней Азии произрастают 63 вида тюльпанов. В Узбекистане встречаются 34 вида и 1 подвид. Страна по богатству видов уступает только Казахстану, где насчитывается 37 видов представителей данного рода (Wilford, Zarrei, 2009; Тоjibaev, Beshko, 2015). Распределение тюльпанов по Узбекистану неравномерно. Из 34 видов 8 (*Tulipa lemanniana* Merckl., *T. buhseana* Boiss., *T. borsczowii* Regel., *T. sogdiana* Bunge, *T. biflora* Pall, *T. sharipowii* Tajibaev, *T. intermedia* Tajibaev, *T. micheliana* Hoog.) произрастают в аридных условиях, где сумма годовых осадков не превышает 100-140 мм в год. Среди них *T. lemanniana*, *T. buhseana*, *T. borsczowii* и *T. sogdiana* относятся к настоящим пустынным видам. Ареал первых двух видов охватывает туркменскую низменность и доходит до северного Китая (Кашгария), а *T. borsczowii* и *T. sogdiana* являются строгими эндемиками Туркменского ботанико-географического округа (Тожибаев и др., 2016; Шомуродов, Абдураимов, 2017). 18 видов тюльпанов, произрастающих на территории Узбекистана, занесены в национальную «Красную Книгу Республики Узбекистан» (2009), большинство из которых характеризуется как виды с чрезвычайно малочисленной популяцией.

В настоящее время разработан детальный алгоритм изучения популяций растений различных жизненных форм (Злобин, 2009; Османова, 2009). Популяционный анализ широко применяется в ботанических исследованиях и включает изучение возрастной структуры и параметра плотности, типирование ценопопуляций (ЦП), уточнение спектра их онтогенетических состояний и нередко оценки состояния ЦП на основе анализа ряда признаков организма и популяции. Проведенные исследования подобного рода и обоснованные результаты являются ценными для ведения долгосрочного мониторинга состояния популяций видов. Это направление особенно важно для популяций редких видов, численность которых мала или угрожающе мала и существование которых становится проблематичным.

Объектом наших исследований выступал *T. lemanniana*, занесенный во все издания Красной книги Узбекистана как растение с сокращающейся численностью и ареалом (Красная книга ..., 1984, 2009). В естественных условиях *T. lemanniana* произрастает в поясе подгорных полусаванновых пустынь, на опесченных гаммадах и выходах пестроцветных пород на высоте до 450 м н.у.м БС

<sup>1</sup> Латинские виды растений приводятся по работе С.К. Черепанова (1995) и по международному списку растений (The Plant List, 2013).

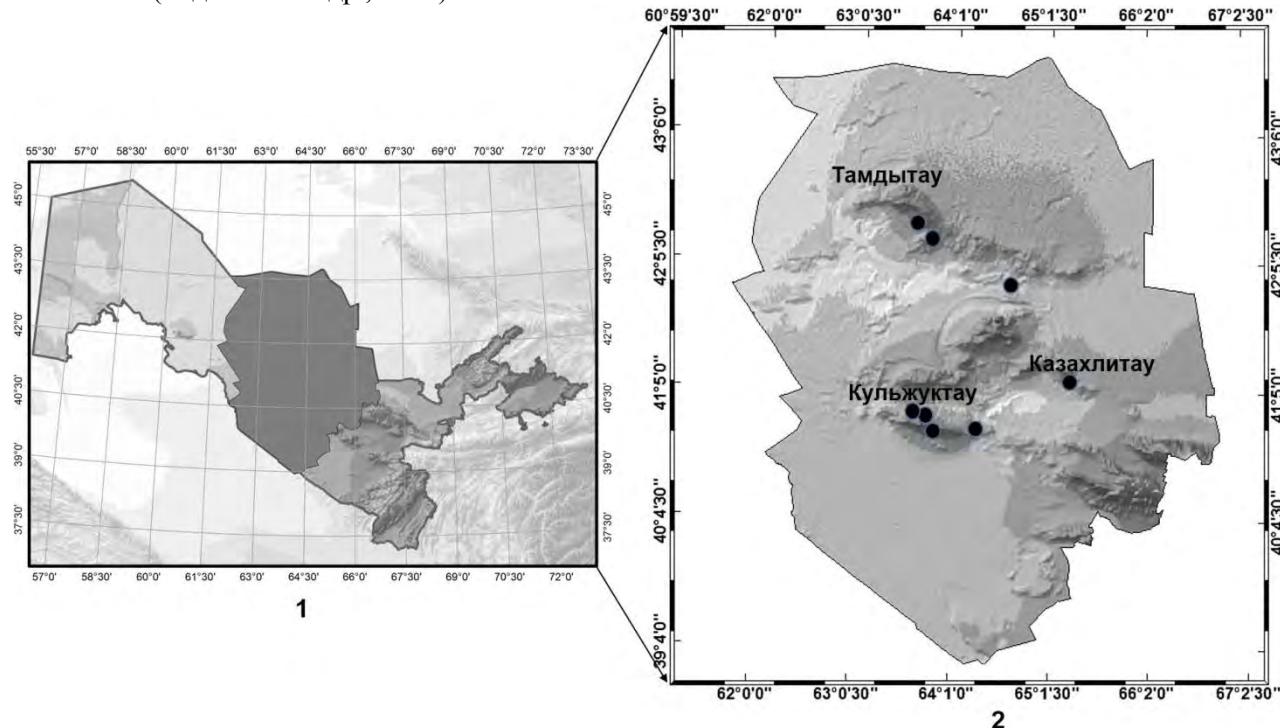
(Введенский, 1935). В Узбекистане он произрастает в пустыне Кызылкум и сопредельных территориях (пески Сундукли, предгорья Нуратинского хребта).

Цель нашего исследования – выявление фитоценотической приуроченности и оценка современного состояния ценотических популяций *T. lehmanniana* в Узбекистане.

### Материалы и методы

Кызылкум – песчаная пустыня в междуречье Амударьи и Сырдарьи. Ограничена на северо-западе Аральским морем, на северо-востоке – р. Сырдарьей, на востоке – отрогами Тянь-Шаня и Памиро-Алая, на юго-западе – р. Амударьей. Площадь ее – около 300 тыс. км<sup>2</sup> (Ценопопуляция ..., 2018). Территория исследования расположена в центральной и юго-западной части пустыни (рис. 1).

По ботанико-географическому районированию территория исследования относится к Кызылкумскому останцовому и Кызылкумскому району Кызылкумского округа Туркестанской провинции. Кызылкумский останцовый район включает аридные низкогорья Центрального (Букантау, Джетымтау, Тамдытау), Юго-западного (Кульджуктау, Ауминзатау, Казахтау, Кокчатау и др.) и Северо-западного Кызылкума (Султан-Увайс). Благодаря расчлененному рельефу и пестроте почвенного покрова здесь существует широкий спектр местообитаний. Кызылкумский район занимает основную территорию Кызылкумской пустыни с песчаными, гипсовыми, солончаковыми массивами (Таджибаев и др., 2016).



**Рис. 1.** Территория исследования в центральной части Республики Узбекистан и по административному отношению соответствует территории Бухарской и Навоиской областей (1). Условные обозначения: точками на рисунке (2) обозначено расположение кульджуктауской, казахлитауской и тамдытауской ценопопуляций *T. lehmanniana*.

Климат Кызылкума по классификации Кёппена относится к аридному, который характеризуется высокой температурой воздуха, с большими суточными колебаниями и малым количеством атмосферных осадков (около 100–150 мм/год) либо полным их отсутствием (McKnight, Hess, 2000).

Было обследовано 8 ценотических популяций *T. lehmanniana*, произрастающих в разных эколого-фитоценотических условиях пустыни Кызылкум (табл. 1).

Первые четыре ценопопуляции были изучены в разных частях хребта Кульджуктау (кульджуктауская популяция; рис. 1). Они произрастают на песчано-щебнистых почвах южной предгорной равнины горы Кульджуктау в составе разнотравно-адраспанового сообщества (*Peganum*

*harmala+Alhagi pseudalhagi, Carex physodes, Tulipa sogdiana*; ЦП1), на песчаных почвах вдоль временного водотока в центральной части хребта и входят в структуру разнотравно-полынного сообщества (*Artemisia diffusa+A. pseudalhagi, Carex physodes, Ferula foetida*; ЦП2), на каменисто-песчаных почвах хребта в окрестностях колодца Султанбибы (ЦП3) в составе эфемероидово-полынного сообщества (*A. diffusa+Scorzonera circumflexa, Poa bulbosa, Leontice incerta*) и на супесчанных почвах Восточного Кульджуктау, активно участвуя в сложении феруловово-полынного (*A. diffusa+Ferula foetida*) сообщества на высоте 571 м н.у.м. БС.

**Таблица 1.** Характеристика исследованных ценопопуляций *T. lemanniana*.

№ ЦП	Место произрастания ценопопуляций	Географические координаты	Высота, м н.у.м. БС	Растительные сообщества	Общее проективное покрытие травостоя, %	Проективное покрытие <i>T. lemanniana</i> , %
1	Южные предгорные равнины Кульджуктау (в окрестностях колодца Аякгужумды)	40° 44.327' с.ш., 063° 45.019' в.д.	388	<i>Peganum harmala+Alhagi pseudalhagi+Carex physodes, Tulipa sogdiana</i>	15-20	1
2	Центральная часть Кульджуктау (в окрестностях колодца Султанбибы)	40° 45.896' с.ш. 064° 46.305' в.д.	461	<i>Artemisia diffusa+A. pseudalhagi, C. physodes, Ferula foetida</i>	20-25	1
3	Юго-западная часть Кульджуктау (в окрестностях колодца Акташли)	40° 48.263' с.ш. 063° 43.976' в.д.	437	<i>A. diffusa+Scorzonera circumflexa, Poa bulbosa, Leontice incerta</i>	20-25	2
4	Восточный Кульджуктау (в окрестностях колодца Башгужумды)	40° 47.317' с.ш. 064° 02.201' в.д.	573	<i>A. diffusa+F. foetida</i>	25-30	1
5	Северо-восточные подгорные равнины Тамдытау	40° 17.581' с.ш. 064° 23.430' в.д.	504	<i>A. diffusa+Cousinia hamadae</i>	20-25	1
6	Северные подгорные равнины Тамдытау	40° 55.919' с.ш. 063° 32.795' в.д.	211	<i>A. diffusa+P. harmala, C. physodes</i>	28-30	2
7	Горы Казахтау	40° 49.637' с.ш. 065° 50.373' в.д.	466	<i>C. physodes+A. diffusa</i>	53-55	2
8	Песчаная равнина между горами Казактау и Тохтатай	41° 32.060' с.ш. 064° 52.657' в.д.	235	<i>Calligonum leucocladum+A. diffusa</i>	25-30	2

Характерной особенностью последней ассоциации является присутствие в ней некоторых горных флористических элементов, таких как *Rhamnus sintenisii*, *Anemone petiolulosa* и *Ranunculus sewerzowii*, благодаря выпадению здесь большого количества осадков по сравнению с остальной частью хребта. Видовой состав фитоценозов, где изучались вышеупомянутые ценопопуляции, слагается из 15-28 видов сосудистых растений; наименьшее количество видов (15) отмечено в разнотравно-адраспановом сообществе (ЦП1), а наибольшее (28) – в феруловово-полынном (ЦП4). Общее проективное покрытие травостоя составило 15-30% (табл. 1). При этом доля в проективном покрытии исследуемого вида в этих сообществах не превышает 2%. Пятая и шестая ценопопуляции

(тамдытауской популяции) произрастают в подгорных равнинах хребта Тамдытау. Данный хребет является наиболее высоким среди всех возвышенностей Кызылкума. Он объединяет в себе горы Тамдытау, Мурунтау и Карагатау, представляющие собой горы с довольно расчлененными рельефами и состоящие из метаморфизованных известняков и сланцев. В растительном покрове преобладают ассоциации полынной (*Artemisia diffusa*, *A. turanica* *A. terrae-albae*) и боялышевой (*Salsola arbusculiformis*) формаций.

На северо-восточных шлейфах Тамдытау на слегка пониженном микрорельфе, засыпанном песком, изучалась пятая ценопопуляция вида. Она произрастает в кузинево-полынном (*A. diffusa+Cousinia hamaiae*) сообществе, где общее проективное покрытие травостоя не превышает 25%.

Флористический состав данного фитоценоза слагается из 19 видов. В составе илаково-адраспаново-полынного (*A. diffusa+eganim harmala*, *Carex physodes*) сообщества, распространенного вдоль автотрассы Зарафшан-Тамды, изучалась следующая ценопопуляция (ЦП6).

Почва описываемого участка песчаная. Проективное покрытие травостоя в момент исследования составляло 30%, больше половины которого приходится на доли эфемеров и эфемероидов. В сложении фитоценоза участвует 21 вид цветковых растений.

Очередные две ценопопуляции (ЦП7 и ЦП8 казахтауской популяции) произрастают на супесчаной почве, подстилаемой мощными песками, расположеннымми между Казахтау на востоке, Тамдытау на западе и Тохтату на севере (ЦП8), а также вдоль сухого сая, протекающего между холмами Казахтау (ЦП7).

В растительном покрове 8 ценопопуляции доминирует один из широко распространенных видов растения песчаных пустынь Средней Азии – *Calligonum leucocladum*, содоминантом сообщества выступает *A. diffusa*. Благодаря крупным особям кустарников и полукустарничков проективное покрытие травостоя достигает 30%. Однако флористический состав фитоценоза небогат и слагается всего из 12 видов. Седьмая ценопопуляция произрастает в составе полынно-илакового (*C. physodes+A. diffusa*) сообщества. За счет плотных зарослей осоки вздутой в ассоциации с 27 видами растений из разных таксономических групп с разными жизненными формами общее проективное покрытие травостоя достигает 55%. Подобное покрытие раскидистополынной формации в Кызылкумах встречается довольно редко.

Структуру ценопопуляции изучали общепринятым методом (Уранов, 1975; Ценопопуляции ..., 1976). Трансекты закладывали длиной по 10 м, устраивая их на площадках по 1 м<sup>2</sup>. В каждой ценопопуляции заложено от 10 до 30 площадок по 1 м<sup>2</sup>.

Онтогенетические структуры ценопопуляций определены как соотношение в ценопопуляции особей разных онтогенетических состояний. За счетную единицу принята особь. При характеристике популяционной структуры мы опирались на представления о характерном онтогенетическом спектре (Заугольнова, 1994). По характеру распределения онтогенетических групп выделяют 4 типа спектров: левосторонний, центрированный, правосторонний и бимодальный. Характерный спектр зависит от биологических особенностей вида.

Ценопопуляции описывали согласно классификации А.А. Уранова и О.В. Смирновой (1969). Плотность популяции определяли количеством особей или биомассой на единицу площади либо объема. При этом особое внимание было уделено средней плотности, то есть численности на единицу всего пространства, или экологической плотности – численности на единицу обитаемого пространства, которые фактически могут быть заняты популяцией (Одум, 1986). При определении значений индекса старения и индекса восстановления мы использовали методику Н.В. Глотова (1988), а также А.Р. Ишбирдина и М.М. Ишмуратова (2004).

Оценку состояния ценопопуляций мы проводили с использованием организменных и популяционных признаков (Заугольнова, 1994). Для этого диапазон каждого признака разбивался на пять классов с одинаковым объемом по равномерной шкале; затем каждому классу присваивался балл; наименьший балл соответствовал наименьшим показателям. Результаты оценок представлены в виде многоосевых диаграмм. Для оценки состояния ценопопуляции в качестве организменных признаков были выбраны: репродуктивное усилие особи (Р/У), биомасса особи, высота растения, длина листа, длина листочка околоцветника. В качестве популяционных признаков были взяты: плотность особей на 1 м<sup>2</sup>, экологическая плотность особей на 1 м<sup>2</sup>, доля особей молодой фракции (j-v), доля особей генеративной фракции (g), доля особей старой фракции (s). Репродуктивное усилие

растений определяли по отношению веса генеративных структур к общему весу особи (Марков, Плещинская, 1987).

Биометрические показатели были обработаны статистически. Определялись среднее арифметическое, его ошибка, минимальные и максимальные значения признака. Оценка достоверности средних значений устанавливалась по критерию Стьюдента (Зайцев, 1984). Статистические характеристики получены при помощи программ Excel и Statistica.

Выбор признаков был обусловлен диапазоном их варьирования и силой корреляционного взаимодействия (Заугольнова, 1994), с использованием значения с достоверными отличиями (Зайцев, 1984). Геоботанические описания выполнены по стандартной методике на площадках 100 м<sup>2</sup> (Полевая геоботаника, 1964). Выявлен видовой состав, общее проективное покрытие травостоя, проективное покрытие вида.

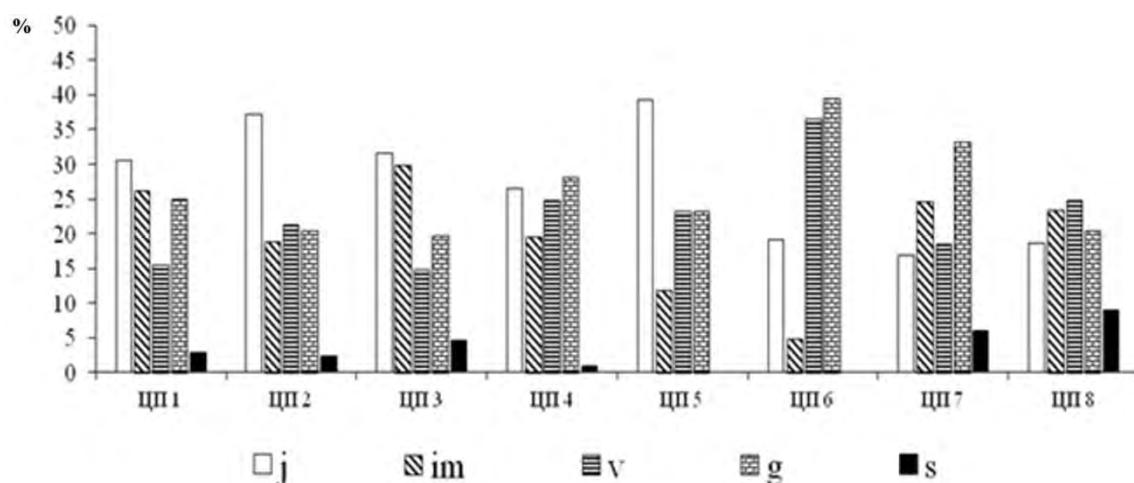
### Результаты и их обсуждение

По классификации А.А. Уранова и О.В. Смирновой (1969) изученные ценопопуляции *T. lehmanniana* являются нормальными и полноценными. Исключение составили тамдытауские ценопопуляции, где в онтогенетическом спектре ценопопуляций отсутствуют старческие фракции (табл. 2; рис. 2).

**Таблица 2.** Демографические показатели ценопопуляций *T. lehmanniana*.

№ ЦП	Онтогенетическое состояние, %				
	j	im	v	g	s
1	30.5	26.06	15.5	24.9	2.8
2	37.1	18.8	21.3	20.3	2.26
3	31.6	29.8	14.7	19.6	4.6
4	26.5	19.5	24.7	28.1	1
5	39.3	11.7	23.07	23.07	0
6	19.2	4.8	36.5	39.4	0
7	16.9	24.6	18.46	33.2	6.2
8	21.7	23.3	24.8	20.3	9.1

**Примечания к таблице 2 и рисунку 2:** j – ювенильное, im – имматурное, v – виргинильное, g – генеративное, s – сенильное.



**Рис. 2.** Структура ценопопуляций *Tulipa lehmanniana*. Условные обозначения даны в таблице 2.

Анализ онтогенетической структуры ценопопуляций *T. lehmanniana* показал, что она имеет левосторонний и центрированный спектры. Ценопопуляции с левосторонним онтогенетическим

спектром наблюдаются в нарушенных растительных сообществах, где доминируют виды рода *Artemisia* и *Peganum harmala*. Опустошенные в результате вырубки полыни на дрова местообитания и вторичные растительные сообщества с доминированием *P. harmala*, образованные вследствие интенсивного выпаса, являются благоприятными для развития молодых особей тюльпанов. В ценопопуляциях, распространенных на подобных территориях, преобладают ювенильные растения. Однако значительная их часть выпадает в данном или в имматурном возрасте под воздействием разных факторов (высокая температура, нехватка влаги, выпас). Выявлено, что центрированные спектры формируются в составе феруловово-полынного (ЦП4), илаково-адраспаново-полынного (ЦП6) и полынно-илакового (ЦП7) сообществ. Преобладание в последних ценопопуляциях генеративных особей связано с различными факторами: с элиминацией молодых неокрепших особей вследствие вымывания во время редких для пустынных условий весенних селевых потоков (ЦП4); с использованием илаково-полынных пастбищ в зимне-весенний период, т.е. в начале вегетации тюльпанов, когда проростки вида уязвимы к вытаптыванию. Долгое пребывание особей в генеративном периоде также способствует централизации онтогенетического спектра.

Исходя из особенностей биологии вида (высокая семенная продуктивность и всхожесть семян, вегетативное размножение) характерным спектром ценопопуляций изученного вида следует считать левосторонний. Онтогенетические спектры четвертой, шестой и седьмой ценопопуляций отклоняются от теоретически установленного спектра, а в остальных ценопопуляциях совпадают с характерным и отражают биологические особенности вида.

Так как мы не подразделяли генеративные особи на молодые (g1), средневозрастные (g2) и стареющее (g3), ценопопуляции *T. lemanniana* классифицировались по А.А. Уранову и О.В. Смирновой (1969). Согласно этой классификации, популяции, изученные в подгорных равнинах, относятся к молодым, а произрастающие на различных частях останцовых гор – к зрелым.

Плотность особей в ценопопуляциях колеблется в среднем от 5.2 до 17.65 экз./м<sup>2</sup>, экологическая плотность – от 7.64 до 23.5 экз./м<sup>2</sup> (табл. 3).

Наивысшие значения средней плотности особей отмечены в ценопопуляциях, произрастающих на восточном Кульджуктау и на мощных песчаных равнинах между Казахлитай и Тохтатау (14.03-19.9 экз./м<sup>2</sup>). Высокие показатели плотности особей в этих ценопопуляциях, вероятно, связаны с благоприятными условиями для семенного возобновления (сравнительно высокими атмосферными осадками и их проницаемостью; табл. 4).

**Таблица 3.** Демографическая характеристика ценопопуляций *T. lemanniana*.

№ ЦП	I <sub>в</sub>	I <sub>ст</sub>	Плотность особей, шт./1 м <sup>2</sup>	P <sub>экол</sub> , 1 м <sup>2</sup>	Общее количество особей в ЦП, шт.	Типы ЦП
1	2.89	0.028	9.3	11.2	186	зрелый
2	3.80	0.022	12.5	16.6	250	молодой
3	3.88	0.046	13.65	16	273	молодой
4	2.51	0.01	17.65	23.5	353	молодой
5	3.21	0	5.2	8	104	молодой
6	1.53	0	12	14.2	240	зрелый
7	1.80	0.06	14.1	16.5	282	зрелый
8	3.29	0.09	16.6	19.2	332	молодой

**Примечания к таблице 3:** I<sub>в</sub> – индекс восстановления, I<sub>ст</sub> – индекс старения, P<sub>экол</sub> – экологическая плотность.

Для детальной характеристики онтогенетической структуры ценопопуляций мы также изучили индексы восстановления (I<sub>в</sub>) и старения (I<sub>ст</sub>), отражающие динамические процессы в ценопопуляции. В большинстве обследованных ценопопуляций индекс восстановления выше единицы, что свидетельствует об их неплохом семенном возобновлении. Высокие значения I<sub>в</sub> (3.21-3.88) отмечены в ценопопуляциях, произрастающих в составе выбитых растительных сообществ: разнотравно-

полынном (ЦП2), эфемероидово-полынном (ЦП3), кузиниево-полынным (ЦП5) и полынно-кандымовом (ЦП8), распространенных на песках с высокой проницаемостью атмосферных осадков. В остальных ценопопуляциях он варьирует от 1.53 до 2.89 (табл. 3). Почти нулевые значения (0-0.1) индекса старения в обследованных ценопопуляциях связаны с отсутствием или минимальным количеством старых особей, которое, по мнению некоторых авторов (Баранова, 1999; Кобозева, 2010), характерно для луковичных геофитов (табл. 3).

Для оценки состояния ценопопуляций мы применили метод сопоставления организменных и популяционных параметров, предложенный Л.Б. Заугольновой с соавторами (1993, 1994). Положение каждой ценопопуляции оценивали в баллах соответственно величине каждого признака (табл. 4).

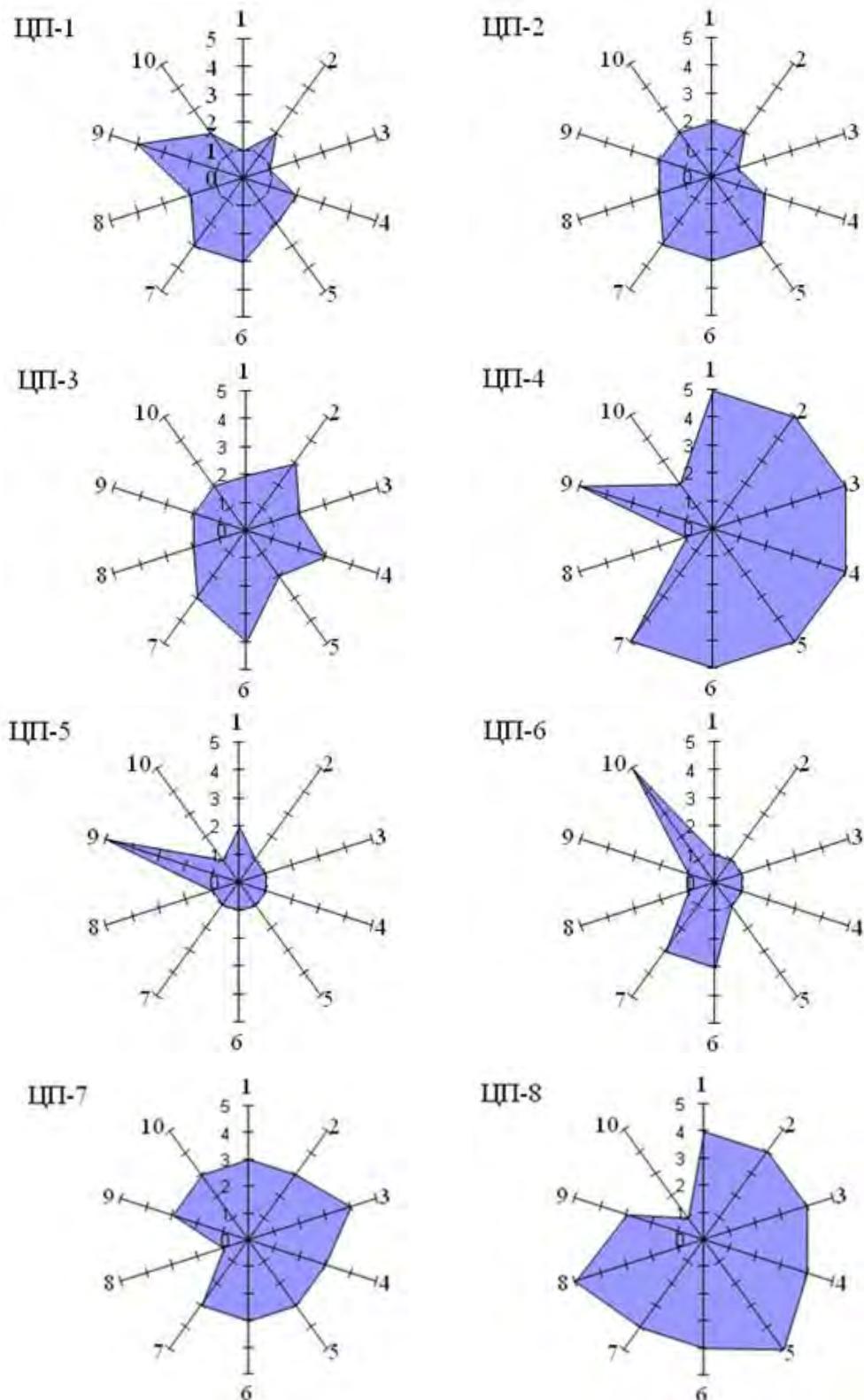
**Таблица 4.** Оценка величины признаков *Tulipa lehmanniana* в баллах.

№	Признаки	Баллы				
		I	II	III	IV	V
1	P/Y, %	14.1-16.41	16.42-18.73	18.74-21.05	21.06-23.37	23.38-25.7
2	Биомасса особи, г	7.2-10.34	10.35-13.48	13.49-16.62	16.63-19.76	19.77-22.9
3	Высота растений, мм	106.9-121.6	121.61-136.21	136.22-150.82	150.83-165.43	165.44-180.04
4	Длина нижнего листа, мм	74.6-96.24	96.25-117.88	117.89-139.52	139.53-161.16	161.17-182.8
5	Длина листочки околоцветника, мм	21.3-25.18	25.19-29.06	29.07-32.94	32.95-36.82	36.83-40.7
6	Плотность особей вида на 1 м <sup>2</sup> , шт.	5.2-8.14	8.15-11.08	11.09-14.02	14.03-16.96	16.97-19.9
7	Экологическая плотность 1 м <sup>2</sup> , шт.	7.64-10.8	10.9-14.06	14.07-17.23	17.24-20.4	20.41-23.5
8	Доля s, %	0-2.40	2.41-4.81	4.82-7.22	7.23-9.63	9.64-12.03
9	Доля g, %	19.6-23.56	23.57-27.52	27.53-31.48	31.49-35.44	35.45-39.4
10	Доля j-v, %	59.96-63.39	63.40-66.83	66.84-70.27	70.28-73.71	73.72-77.2

Анализ выбранных признаков организма и популяций выявил, что ни в одной из изученных ценопопуляций их высокие значения не совпадают. Но по совокупности значений признаков ферулово-полынного (ЦП4) и полынно-кандымового (ЦП8) сообществ, распространенных в центральной и восточной частях Кульджуктау, их можно считать эколого-фитоценотическим оптимумом для *T. lehmanniana*. В данных ценопопуляциях сумма значений организменных признаков составляет 21-25 баллов, а популяционных признаков – 15-17 баллов. Высокие значения признаков связаны с достаточной почвенной влагой для растений, произрастающих в пустынных условиях. Широкое распространение ряда горных флористических элементов подтверждает обеспеченность территории атмосферными осадками. В большинстве ЦП (1, 2, 3, 5, 6, 7) и организменные, и популяционные признаки имеют низкие значения: их сумма не превышает 19-20 баллов. В гипсовых и каменисто-щебнистых экотопах рост и развитие *T. lehmanniana* подавлены (рис. 3).

### Выводы

Таким образом, подавляющее большинство ценопопуляций *T. lehmanniana* – нормальное и полноценное. Отсутствие сенильных возрастных групп в отдельных случаях объясняется биологией вида и сукцессивным состоянием ценопопуляций. Диагностика состояний ценопопуляций *T. lehmanniana* показала, что ни в одной из обследованных ценопопуляций не отмечено максимальное совпадение суммы значений признаков. Но по совокупности всех выбранных организменных признаков и по значению доли генеративной и старой фракции особей территорию, где произрастает четвертая ценопопуляция, можно считать эколого-фитоценотическим оптимумом для *T. lehmanniana*.



**Рис. 3.** Оценка состояния ценопопуляций *T. lemanniana* (в баллах). Условные обозначения. Организменные признаки: 1 – репродуктивное усилие особи (Р/У), 2 – биомасса особи, 3 – высота растения, 4 – длина листьев, 5 – длина околоцветника. Популяционные признаки: 6 – плотность особей *T. lemanniana* на 1  $m^2$ , 7 – экологическая плотность особей/ $m^2$  (шт.), 8 – доля старой фракции (s), 9 – доля генеративной фракции (g), 10 – доля молодой фракции растений (j-v).

Низкое значение средней плотности и экологической плотности особей, а также доли молодой фракции в данной ценопопуляции можно считать временными показателями, связанными с погодными условиями года, когда были проведены исследования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Баранова М.В.* 1999. Луковичные растения семейства Лилейных (география, биоморфологический анализ, выращивание). СПб. 229 с.
- Введенский А.И.* 1935. *Tulipa* L. Тюльпан. Флора СССР М.-Л. Т. 4. С. 320-364.
- Введенский А.И., Ковалевская С.С.* 1971. *Tulipa*. Определитель растений Средней Азии. Ташкент: Фан. Т. 2. С. 94-109.
- Глотов Н.В.* 1988. Об оценке параметров возрастной структуры популяции растений // Жизнь популяций в гетерогенной среде. Ч. I. С. 146-149.
- Зайцев Г.Н.* 1984. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М. 424 с.
- Заугольнова Л.Б.* 1994. Структура популяций семенных растений и проблемы их мониторинга. Автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. СПб. 70 с.
- Заугольнова Л.Б., Денисова Л.В., Никитина С.В.* 1993. Подходы к оценке состояния ценопопуляций растений // Бюллетень МОИП. Отделение Биологическое. Т. 98. Вып. 5. С.100-108.
- Злобин Ю.А.* 2009. Популяционная экология растений. Современное состояние, точки роста. Сумы: Университетская книга. 263 с.
- Ишибирдин А.Р., Ишмуратова М.М.* 2004. К оценке виталитета ценопопуляций *Rhodiola iremelica* Boriss. по размерному спектру // Ученые записки НТГСПА. Материалы VI Всероссийского популяционного семинара. Нижний Тагил. С. 80-85.
- Кобозева Е.А.* 2010. Биоморфология и популяционная экология луковичных растений в разных природных зонах Приволжской возвышенности (на примере *Tulipa biebersteiniana* Schult. et Schult. fil. и *Lilium martagon* L.). Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М. 22 с.
- Красная книга Узбекской ССР. 1984. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных и растений. В 2 т. Ташкент: Фан. Т. 2: Растения. 151 с.
- Красная Книга Республики Узбекистан. 2009. Редкие и исчезающие виды растений и животных. В 2 т. Ташкент: Chinor ENK. Т. 1: Растения и грибы. 356 с.
- Марков М.В., Плещинская Е.Н.* 1987. Репродуктивное усилие растений // Журнал общества биологов. № 48 (1). С. 77-82.
- Одум Ю.* 1986. Экология. Мир. Т. 2. 209 с.
- Османова Г.О.* 2009. Экбиоморфология и структура ценопопуляций видов рода *Plantago* L. (*Plantaginaceae* Juss.). Автореф. дис. ... док. биол. наук. Оренбург. 37 с.
- Полевая геоботаника. 1964 / Ред. Е.М. Лавренко, А.А. Корчагин. М.: Наука. Т. III. 230 с.
- Тожибаев К.Ш., Бешко Н.Ю., Попов В.А.* 2016. Ботанико-географическое районирование Узбекистана // Ботанические журнал. № 10 (101). С. 1105-1130.
- Уранов А.А., Смирнова О.В.* 1969. Классификация и основные черты развития популяций многолетних растений // Бюллетень МОИП. Отделение Биологическое. Т. 74. № 2. С. 119-134.
- Уранов А.А.* 1975. Возрастной спектр фитоценопопуляций как функция времени и энергетических волновых процессов // Биологические науки. Т. 2. С. 7-34.
- Шомуродов Х.Ф., Абдураимов О.С.* 2017. Онтогенетическая структура и оценка состояния ценотических популяций *Tulipa borszczowii* (Liliaceae) в Узбекистане // Ботанический журнал. Т. 102. № 8. С. 1123-1136.
- Ценопопуляции растений (основные понятия и структура). 1976. М. 216 с.
- Ценопопуляции редких и исчезающих видов растений останцовых низкогорий Кызылкума. 2018. Ташкент: Навруз. 229 с.
- Черепанов С.К.* 1995. Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб. 992 с.
- McKnight T.L., Hess D.* 2000. Climate Zones and Types: The Köppen System // Physical Geography: A Landscape Appreciation. Upper Saddle River. NJ: Prentice Hall. P. 200-201.
- The Plant List. 2013. A Working List of All Plant Species [Электронный ресурс [www.theplantlist.org](http://www.theplantlist.org) (дата обращения 10.01.2018)].
- Tojibaev K., Beshko N.* 2015. Reassessment of diversity and analysis of distribution in *Tulipa* (Liliaceae) in Uzbekistan // Nordic Journal of Botany. Vol. 33. No. 3. P. 224-234.
- Wilford R., Zarrei M.* 2009. *Tulipa lemanniana* // Curtis's Botanical Magazine. P. 33-42.

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА СТРУКТУРЫ СООБЩЕСТВ ПОЧВЕННЫХ НЕМАТОД  
КАШТАНОВЫХ ПОЧВ ДОЛИНЫ МАНЫЧА ПРИ ПАСТБИЩНОЙ НАГРУЗКЕ<sup>1</sup>

© 2021 г. В.Ю. Шматко, К.С. Сушко, Т.А. Соколова, Л.П. Ильина

Федеральный исследовательский центр Южного научного центра РАН

Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, д. 41.

E-mail: iljina@ssc-ras.ru, shmatko@ssc-ras.ru, antijus@gmail.com

Поступила в редакцию 23.04.2020. После доработки 30.08.2020. Принята к публикации 01.09.2020.

В данной статье изучены два ключевых участка с целинным и пастбищным биотопами, для которых определены почвенные показатели, дана краткая характеристика растительности и с помощью снимков Landsat 8 OLI рассчитаны спектрально-отражательные свойства растительного покрова (NDVI). Изучена сезонная динамика структуры сообществ почвенных нематод каштановых солонцеватых почв при пастбищной нагрузке. Выявлены ряд особенностей, которые проявляются в видовом разнообразии фауны, изменении общей численности, доминировании отдельных трофических групп и родов. Для изученных участков выявлено 133 таксона, точная видовая принадлежность дана для 58 видов. Установлено, что особенности сообществ почвенных нематод в разные сезоны года проявляются в доминировании отдельных трофических групп и родов, а также их общей численности на ключевых участках. В целом фауну нематод можно оценить, как достаточно разнообразную – индекс Шеннона ( $H'$ ) в течение года на всех участках изменялся в пределах одних и тех же значений. Индекс зрелости сообществ нематод Бонгерса ( $MI$ ) свидетельствует о стабильности условий их обитания.

**Ключевые слова:** почвенные нематоды, каштановые солонцеватые почвы, пастбищная нагрузка, растительность, эколого-трофический состав, индекс разнообразия, индекс зрелости сообществ.

**DOI:** 10.24411/1993-3916-2021-10142

Соблюдение условий оптимальной пастбищной нагрузки позволяет сохранить плодородие, разнообразие, продуктивность сообществ эксплуатируемых земель. При умеренном выпасе пастбищные экосистемы длительное время функционируют устойчиво: в них накапливается растительная биомасса, поддерживается баланс между ее синтезом и деструкцией, в верхних почвенных горизонтах образуется гумус, почва обогащается питательными веществами, активизируется биологический круговорот (Джалова и др., 1991; Абатуров, 2006). Проблема нерегулируемого выпаса, приводящая к пастбищной деградации, в последние годы приобрела масштабный характер, что позволяет отнести решение задач по восстановлению деградированных пастбищ и регулированию выпаса к важнейшим для современного природопользования (Абатуров, 1979, 2006; Мяло и др., 1996; Опарин и др., 2004; Абатуров и др., 2010). В сухостепной зоне пастбищное животноводство является одним из ведущих направлений сельскохозяйственного производства. В связи с этим в Южном научном центре РАН с 2010 г. проводятся комплексные исследования по изучению влияния пастбищной нагрузки на плодородие почв, растительный покров, фауну герпетобионтных беспозвоночных и наземногнездящихся птиц в сухих степях долины Маныча (Лебедева и др., 2010, 2011).

Почвенные нематоды – многочисленная группа беспозвоночных животных, они освоили все типы почв (от торфяников тунды до сыпучих песков пустынь). Большинство из них обитают в верхнем слое почв на глубине до 30 см, независимо от особенностей их сельскохозяйственного использования (Соловьева, 1986).

<sup>1</sup> Статья подготовлена в рамках темы Государственного задания ЮНЦ РАН (№ госрегистрации АААА-А19-119011190176-7) «Структурно-функциональная организация и динамика равнинных биоценозов юга России в условиях климатических изменений и антропогенного воздействия».

Обладая высокой численностью совместно с почвенной микрофлорой, почвенные нематоды участвуют в разложении и преобразовании органического вещества, делая его доступным для растений, грибов и бактерий (Парамонов, 1962; Yeates, 1971; Козловская, 1976; Шматко, 2012; Матвеева и др., 2015). Нематоды таких групп, как бактерио- и микрофаги, регулируют численность грибов и бактерий, как подавляя, так и стимулируя их размножение и развитие (Woods et al., 1982; Wasilewska, Bienkowski, 1985). Паразитические нематоды воздействуют на растение-хозяина, что влияет на количество и состав поступающей в почву первичной продукции.

Фауна почвенных нематод сухостепных и полупустынных ландшафтов заповедника «Ростовский» и охранной зоны изучается нами с 2010 г. (Шматко, Тихонов, 2010). За период исследований получены данные по биоразнообразию нематод этой территории, эколого-трофической и таксономической структуре (Шматко, 2013; Шматко, Таболин, 2017). В различных биотопах сухостепных ландшафтов выявлены ряд особенностей, которые проявляются в видовом разнообразии фауны, доминировании отдельных трофических групп и родов. При сравнении сообществ нематод целинных, слабонарушенных, пастбищных и засоленных биотопов наиболее показательными являются индекс видового разнообразия Шеннона и индекс зрелости сообществ Бонгерса (Шматко, Ильина, 2017).

Несмотря на многочисленность и активное участие в почвообразовательных процессах обитающие в почве нематоды, включающие свободноживущие и фитопаразитические формы, относятся к слабоизученной группе беспозвоночных животных (Шматко 2016).

В связи с этим изучение антропогенного воздействия на состояние нематодофауны сухостепных экосистем актуально и имеет практическую значимость, так как позволяет определять базовые параметры сообществ почвенных нематод для дальнейшего мониторинга их динамики и выявления особенностей протекания биологических процессов в почвах.

Целью данной работы было изучение влияния пастбищной нагрузки на структуру сообществ почвенных нематод в каштановых солонцеватых почвах Долины Маныча в зависимости от сезона года.

### **Материалы и методы**

Исследования проводили в 2017-2018 гг. (в разные сезоны года: весной в апреле, летом в июле, осенью в сентябре, зимой в феврале) на 2 ключевых участках, расположенных на территории Орловского района Ростовской области (Кумо-Манычская депрессия).

Исследуемая территория характеризуется сухим континентальным климатом с резкими суточными и годовыми колебаниями температуры воздуха, с гидротермическим коэффициентом <0.7 и суммой осадков 358-400 мм/год (Природные ..., 2002).

Средняя годовая температура воздуха в районе исследований по данным метеостанции НЭС «Маныч» ЮНЦ РАН в 2017-2018 г. составила 8.9°C, что было выше среднегодового значения по области на 0.3°C. Отмечено, что температура воздуха в приземном слое в период исследований характеризовалась ярко выраженным годовым ходом, с пиком в июле и периодом относительной стабильности с июля по конец сентября, когда значения были в пределах 25.0°C.

Участки заложены по трансекте, проходящей по северной части склона водораздела между озерами Маныч-Гудило и Грузкое.

#### *Краткая характеристика участков.*

Ключевой участок № 1 – (46° 24' 54.4" с.ш., 42° 43' 57.7" в.д.) Целинный биотоп, находится на территории Ассоциации «Живая природа степи», представлен умеренно сухой степью с дерновинно-злаковой растительностью.

Весной высота травостоя достигала 30 см. Основу злакового травостоя (около 80-90% от общего проектного покрытия) составили эвксерофитные мелкодерновинные виды: *Festuca valesiaca*<sup>2</sup> и *Stipa lessingiana*, весной обилил *Poa annua*. В формировании травостоя также участвует крупнодерновинный ковыль *Stipa capillata*. Достаточно постоянно к ним примешивается *Agropyron desertorum*. Разнотравье представлено ксерофильными степными и пустынно-степными видами: *Artemisia austriaca*, *Tanacetum achilleifolium*, *Galatella villosa*, *Phlomoides hybrida*, *Falcaria vulgaris*, *Achillea millefolium*, *Vicia cracca*, *Cynoglossum officinale*. Реже отмечены виды: *Senecio vernalis*,

<sup>2</sup> Латинские названия высших сосудистых растений приводятся по работе С.К. Черепанова (1995).

*Bellevalia sarmatica*. Отмечено цветение однолетников рода *Cerastium*, *Gagea*, *Veronica*, *Alyssum*, *Erophila*, *Lamium*.

Летом высота травостоя составляла 40-50 см. Доминанты: *Stipa lessingiana*, *Festuca valesiaca*, содоминанты: *Stipa capillata*, *Agropyron desertorum*. Высокое постоянство у видов: *Achillea millefolium*, *Tanacetum achilleifolium*, *Poa angustifolia*, *Artemisia austriaca* и *Phlomoides hybrida*.

Осенью высота травостоя не превышала 40-50 см. Доминанты: *S. lessingiana*, *F. valesiaca*, и содоминанты остались прежними. Высокое постоянство сохранялось у видов *A. austriaca*, *T. achilleifolium*, *P. angustifolia*, *Phlomoides hybrida* и *Limonium sareptanum*.

Ключевой участок № 2 – ( $46^{\circ} 24' 55.5''$  с.ш.,  $42^{\circ} 44' 21.2''$  в.д.; рис. 1). Пастбищный биотоп, расположен в охранной зоне заповедника «Ростовский» на территории фермерского хозяйства, постоянно используется под выпас крупного и мелкого рогатого скота (в среднем 450 голов коров и около 1200 овец).

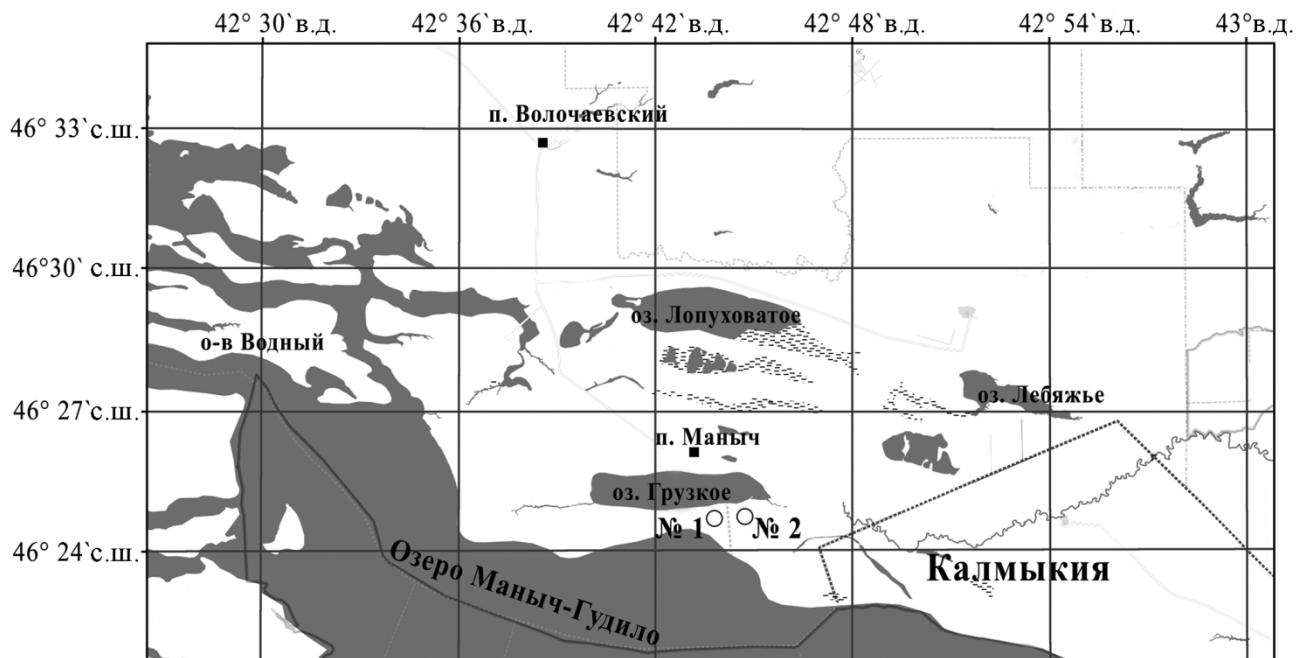


Рис. 1. Схема расположения ключевых участков.

Весной проективное покрытие на этом участке варьировало от 60 до 90%. Высота травостоя достигала 20 см. Основу злакового травостоя (около 60% от общего проективного покрытия) составляли эвксерофитные мелкодерновинные виды *F. valesiaca* и *S. lessingiana*, весной обилиен *Poa annua*. Разнотравье представлено ксерофильными степными и пустынно-степными видами: доминантом *A. austriaca* и другими видами (*T. achilleifolium*, *Galatella villosa*, *Ph. hybrida*, *Artemisia lerchiana*). Эти виды имеют высокое постоянство от 70 до 100%. Реже – *Agropyron desertorum*, *Elytrigia repens*, *L. sareptanum*, *Onopordum acanthium*. Отмечено цветение однолетников рода *Cerastium*, *Gagea*, *Veronica*, *Alyssum*, *Erophila*.

Летом общее проективное покрытие составляло 60-90%. Высота травостоя достигала 30-40 см. Доминантами травостоя были: *A. austriaca*, *P. angustifolia*, *F. valesiaca*, *S. lessingiana*, *A. desertorum*, *Achillea millefolium*, *Galatella villosa*, *P. angustifolia*. Растения были угнетены.

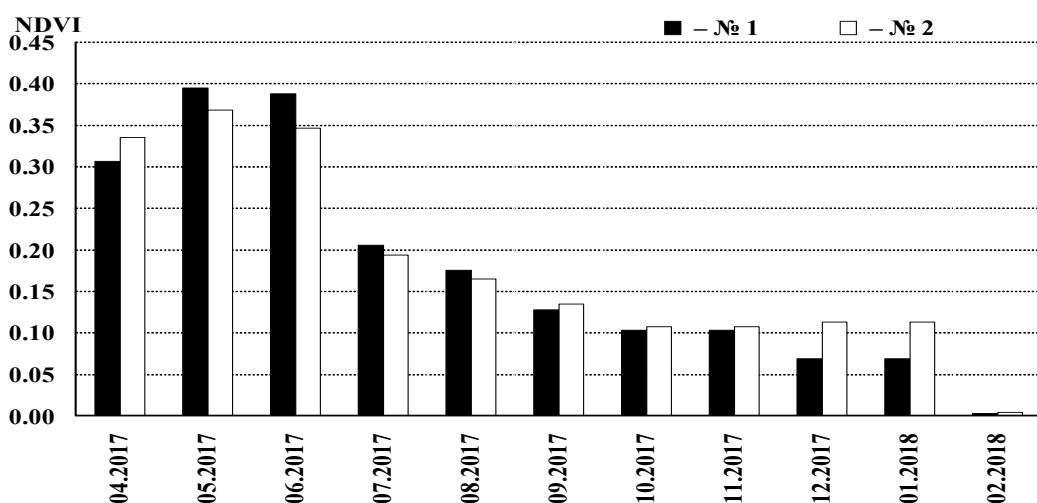
Осенью общее проективное покрытие варьировало от 20 до 70%. Высота травостоя до 20-30 см (у отдельных видов до 40 см). Доминантами травостоя проявлялись – *F. valesiaca*, *A. desertorum*, а содоминантами – *S. lessingiana*, *A. austriaca*, *P. angustifolia*. Постоянно присутствовали: *A. millefolium*, *G. villosa*, *Bromus inermis*.

В конце весны и начале лета 2017 г. целинный участок имел большее значение NDVI (0.38-0.40 ед.) за счет эвксерофитных мелкодерновинных видов, крупнодерновинного вида ковыля *Stipa capillata* и ксерофильно степных видов разнотравья: *T. achilleifolium*, *G. villosa*, *Ph. hybrida*, *Falcaria vulgaris*, *A. millefolium*, *Vicia cracca*. Летом с июня по август на изученных участках отмечался общий

спад показателя NDVI (от 0.34 до 0.16 ед.) в связи с увяданием дерновинных злаков, а на пастбищном участке понижение этого показателя связано с интенсивным выпасом, при котором растительный покров сильно изреживается. Растительные ассоциации дерновиннозлаковых сообществ являются наиболее ценными пастбищными угодьями и поэтому подвергаются наибольшему стравливанию на данной территории.

Осенью (в октябре и ноябре) во влажный период на целинном участке показатель NDVI остался неизменным (0.11-0.14 ед.) из-за высокой плотности дерновинных злаков, проективное покрытие которых составляло 80-95%. На пастбищном участке этот показатель был немного выше из-за меньшей степени задернения, а также из-за обилия растущей куртинами полыни, которой не питаются крупный и мелкий рогатый скот.

В зимний период до наступления стабильных холодов на целинном участке показатель NDVI продолжил уменьшаться до 0.08 ед., а на пастбищном участке остался на том же уровне, что и осенью – 0.13 ед. В феврале 2018 г. показатели NDVI на обоих участках были близки к нулевым значениям из-за снежного покрова (рис. 2).



**Рис. 2.** Значения NDVI ключевых участков в период с апреля 2017 г. по февраль 2018 г. по данным Landsat 8.

Почвенный покров исследуемой территории отличается значительной сложностью и комплексностью, что обусловлено взаимосвязью природных и антропогенных факторов. При этом ведущую роль играет сложный микрорельеф, различный характер увлажнения склонов и западин, повышенная минерализация грунтовых вод, а также антропогенное воздействие. На фоне приуроченных к каштановым почвам степных ценозов выделяются, с одной стороны, пятна влаголюбивой растительности микро- и мезонижений на лугово-каштановых почвах, а с другой стороны – пятна полупустынной растительности на каштановых солонцеватых почвах и солонцах. Основной тип – каштановые почвы. Встречаются подтипы каштановых, темно-каштановых, светло-каштановых почв, а также тип лугово-каштановых (Ильина и др., 2014, Ильина, Сушко, 2018).

Ключевой участок № 1 имел каштановую слабосолонцеватую почву (Классификация и диагностика почв СССР, 1977; Классификация и диагностика почв России, 2004), *Endosalic Kastanozem Sodic* (World Reference Base for Soil Resources, 2006) с содержанием гумуса в верхнем слое не превышающим 3%. Гранулометрический состав почвы был среднесуглинистым, с плотностью в верхнем горизонте  $0.72 \text{ г}/\text{см}^3$ , а в иллювиальном –  $1.03 \text{ г}/\text{см}^3$ . С поверхности почва была незасоленная, а солонцовый горизонт был слабозасолен. Содержание натрия в ППК не превышало 4.3%, pH среды была щелочная.

Ключевой участок № 2 характеризовался каштановой среднесолонцеватой почвой (Классификация и диагностика почв СССР, 1977; Классификация и диагностика почв России, 2004), *Endosalic Kastanozem Sodic* (World Reference Base for Soil Resources, 2006) с содержанием гумуса в

верхнем горизонте, не превышающем 1.97%. По гранулометрическому составу почва была тяжелосуглинистая с плотностью в верхнем горизонте 1.05 г/см<sup>3</sup>, а в иллювиальном – 1.56 г/см<sup>3</sup>. С поверхности почва была слабозасоленная, а солонцовый горизонт был среднезасолен. Содержание натрия в ППК не превышало 6.5%, рН среды была щелочная.

Почвенные исследования проводили стандартными методиками: гумус определяли методом И.В. Тюрина в модификации В.Н. Симакова (Орлов, Гришина, 1981), гранулометрический состав почв пирофосфатным методом, плотность измеряли в образцах почв ненаруженного сложения буром Качинского, рН водный – потенциометрически (ГОСТ 26423-85), состав обменных катионов методом Бобко–Аскинази–Алешина (Аринушкина, 1970; Вадюнина и др., 1973; Агрохимические ..., 1975). Номенклатура почв приведена в соответствии с классификацией почв России («Классификация и диагностика почв СССР», 1977; Классификация и диагностика почв России, 2004), а также в системе *WRB* (World Reference Base for Soil Resources, 2006).

Были проведены геоботанические описания растительности 2 ключевых участков на площадках размером 100 м<sup>2</sup>. Обилие–покрытие видов дано по комбинированной шкале Браун–Бланке (Braun-Blanquet, 1964).

Для анализа спектрально-отражательных свойств растительного покрова (показатель NDVI) на ключевых участках в течение всего периода изучения использованы снимки *Landsat 8 OLI* с апреля 2017 по февраль 2018 года. Проанализировано 32 спектра отражения растительности ключевых участков на космоснимках, расшифровку которых проводили в программе ENVI 4.7. Космоснимки взяты из базы данных USGS «EarthExplorer – Home» (U.S. Geological Survey, GIS LAB).

При изучении распространения нематод в почвах 2 ключевых участков использованы стандартные методики, которые позволяют получать достоверные результаты при относительно небольшом количестве отбираемых почвенных образцов (Метлицкий, Матвеева, 1975; Метлицкий, 1985). Раз в сезон было отобрано 3 почвенных образца с каждого ключевого участка. Выделение почвенных нематод проведено в трехкратной повторности модифицированным методом Флегга из 50 г почвы с последующей фиксацией нематод в 5% горячем формалине. Все полученные экземпляры нематод были подсчитаны и монтированы на постоянные препараты по стандартной методике (Hall, 1996).

Выявленные виды нематод разделили на 5 эколого-трофических групп, используя классификацию Йейтса (Yeates et al., 1993): бактериотрофы (Б), микротрофы (М), фитотрофы (Пр), всеядные (В) и хищники (Х).

Для характеристики фауны почвенных нематод использовали следующие показатели:

- относительная численность в экз./100 г почвы;
- ошибка среднего;
- Индекс разнообразия Шеннона (*H'*) определялся по стандартной методике (Песенко, 1982);
- доминирование родов в сообществе выражается как отношение (в %) числа особей данного таксона к общему числу нематод.

По данному признаку нематоды объединяются в пять групп: эудоминанты (более 10% от всех обнаруженных особей), доминанты (5.1-10%), субдоминанты (2.1-5%), рецеденты (1.1-2%) и субрецеденты (менее 1.1%) (Соловьева, 1986);

• Индекс зрелости (*the maturity index – MI*) сообществ нематод (Bongers, 1990), основанный на разделении семейств и родов нематод на категории «колонизаторы–персисторы» (*colonizers–persister, c-p*), которые отражают их адаптивность к тем или иным условиям среды обитания и

$$MI = - \sum_{i=1}^n Vi \cdot fi,$$

где *Vi* – значение по с-р шкале Бонгерса каждого таксона, *fi* – частота встречаемости каждого таксона.

### Результаты и обсуждение

*Состав и структура сообществ почвенных нематод.* В исследованных сухостепных биотопах исследованных ключевых участков отмечено 133 вида почвенных нематод, принадлежащих к 79 родам и 33 семействам, точная видовая принадлежность дана для 58 видов: *Acrobeloides ciliatus*; *Acrobeloides cylindricus*; *Acrobeloides sparsus*; *Acrobeloides buetschlii*; *Acrobeloides enoplus*; *Acrobeloides nanus*; *Alaimus robustus*; *Amplimerlinius longicauda*; *Amplimerlinius macrurus*; *Aphelenchus avenae*;

*Aporcelaimus bestiarius; Aporcelaimus caesar; Cephalobus persegnis; Clarkus papillatus; Coslenchus areolatus; Coslenchus costatus; Discolaimus major; Ecumenicus monohystera; Eucephalobus striatus; Eudorylaimus acuticauda; Eudorylaimus pussulosus; Eumonhystera vulgaris; Filenchus equisetus; Helicotylenchus digonicus; Helicotylenchus dihystera; Helicotylenchus leocephalus; Heterocephalobellus magnificus; Heterodorus thornei; Kirjanovae discoideus; Lelenchus leptosoma; Longidorella arenicola; Longidorella longicaudata; Longidorella microdorus; Longidorella murithi; Longidorella obtusicaudata; Longidorella okhlaensis; Longidorella parva; Microdorylaimus parvus; Nygolaimus brachyuris; Nygolaimus captivitatis; Nygolaimus paratenius; Panagrolaimus detritophagus; Paraphelenchus pseudoparietinus; Paratylenchus elachistus; Paravulvus acuticaudatus; Paraxonchium laetificans; Plectus opisthocirculus; Pratylenchus pratensis; Prionchulus vescus; Prismatolaimus leptolaimus; Prismatolaimus primitivus; Pungentus macrostylus; Pungentus marietani; Seinura citri; Tylencholaimellus montanus; Tylencholaimellus striatus; Tylenchus elegans; Xiphinema vuittenezi.*

Индекс Шеннона ( $H'$ ) в течении года на обоих участках изменялся в пределах одних и тех же значений (на целинном участке 1.10-1.24, на пастбищном участке 1.07-1.27 и имел минимальные значения весной и максимальные зимой. В сезонной динамике показателей индекса видового разнообразия отмечено, что летом он увеличивается и на целинном участке значения больше, чем на пастбищном (1.23 и 1.15, соответственно), а осенью, напротив, на целинном значения уменьшаются до 1.16, а на пастбищном продолжают расти до 1.25. Такая сезонная динамика индекса видового разнообразия, по-видимому, связана с разным режимом землепользования, который в свою очередь влияет на вторичную вегетацию растений при пастбищной нагрузке. В целом индекс Шеннона показывает, что видовое разнообразие почвенных нематод для каштановых почв сухостепной зоны исследуемого региона достаточно богатое (табл. 1).

**Таблица 1.** Относительная численность трофических групп (экз./100 г почвы) и показатели индексов зрелости (MI) и Шеннона ( $H'$ ), ( $x \pm \delta$ ,  $x$  – относительная численность,  $\pm \delta$  – ошибка среднего).

Трофические группы	апрель 2017		июль 2017		сентябрь 2018		февраль 2018	
	№1	№2	№1	№2	№1	№2	№1	№2
Б	70±11	70±15	147±13	76±8	106±12	172±13	86±17	102±22
В	138±12	82±13	501±31	244±27	307±53	484±68	65±9	113±35
Ф	169±15	104±19	418±40	275±25	875±103	536±49	250±61	334±40
М	17±6	11±2	46±11	8±4	53±15	52±12	114±25	69±9
Х	29±9	13±3	289±54	130±25	98±14	114±14	52±13	54±8
$\Sigma$	423±31	279±36	1400±34	734±50	1438±136	1358±98	566±80	672±69
MI	2.28±0.08	2.26±0.21	3.05±0.14	2.67±0.16	1.64±0.08	2.43±0.09	2.06±0.18	1.85±0.16
$H'$	1.1±0.02	1.07±0.04	1.23±0.02	1.15±0.03	1.16±0.03	1.25±0.02	1.24±0.05	1.27±0.04

**Примечание к таблице 1:** №1 – целинный биотоп, №2 – пастбищный биотоп, Ф – фитотрофы, М – микотрофы, Б – бактериотрофы, В – всеядные, Х – хищники,  $\Sigma$  – общая относительная численность почвенных нематод, MI – индекс зрелости,  $H'$  – индекс Шеннона.

В период исследования выявлено 16 родов, почвенных нематод, которые составляют основную часть структуры сообществ относящиеся к эудоминантам и доминантам, весной таковых приходится 58.1-63.3% от общей численности всех обнаруженных родов, летом – 57.4-61.4%, осенью – 58.1-62.6%, зимой – от 43.3 до 44.2% (табл. 2).

Весной для обоих участков доминирующими по численности были такие роды как: *Coslenchus*, *Helicotylenchus*, *Tylenchus*, *Acrobeles*, *Eucephalobus*, *Aporcelaimellus*, *Nygolaimus*. Весной для пастбищного участка характерно доминирование *Coslenchus* и *Eucephalobus*, а для целинного *Nygolaimus*. Летом значимыми оказались 9 родов: *Filenchus*, *Helicotylenchus*, *Merlinius*, *Tylenchus*, *Aporcelaimellus*, *Eudorylaimus*, *Pungentus*, *Nygolaimus*, *Paravulvus*. Из них *Filenchus*, *Tylenchus* и *Paravulvus* доминировали только на целинном участке, а роды *Helicotylenchus* и *Merlinius* только на пастбищном участке.

**Таблица 2.** Численность почвенных нематод (экз./100 г почвы) на ключевых участках.

Трофические группы	Род	Ключевой участок							
		апрель 2017		июль 2017		сентябрь 2018		февраль 2018	
		№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2
Ф	<i>Amplimerlinius</i>	3.7	4.1	11.5	10.3	179.1	76	4.1	3.3
Ф	<i>Coslenchus</i>	19.6	20.8	12.3	9.8	19.9	19.5	26.4	7.1
Ф	<i>Filenchus</i>	13.2	9.2	82.4	25.5	70.6	53.3	32.9	40.9
Ф	<i>Helicotylenchus</i>	43.3	17.2	54.4	98.3	109	115.6	48.9	47.2
Ф	<i>Lelenchus</i>	-	3.2	-	0.5	-	-	47.4	81.5
Ф	<i>Merlinius</i>	-	-	52.1	42.8	3.4	27.8	3.3	11.6
Ф	<i>Dorylaimellus</i>	-	0.3	33.5	1.8	86.9	66.7	17.4	21.4
Ф	<i>Tylenchus</i>	38.5	18.7	74.5	13.9	237.6	77.6	28.7	41.9
Ф	<i>Cephalenches</i>	-	0.3	-	-	3.4	-	-	-
Ф	<i>Geocenamus</i>	-	-	-	-	11.2	-	-	-
Ф	<i>Longidorella</i>	13.3	2.9	28.2	3	8.6	12.2	0.4	1.8
Ф	<i>Longidorus</i>	-	-	-	-	-	1.5	-	-
Ф	<i>Mesocriconema</i>	8.3	2.2	6.6	2.6	53.3	9.6	4.1	3.4
Ф	<i>Metaxonchium</i>	-	-	-	-	-	-	-	3.6
Ф	<i>Nagelus</i>	-	-	-	-	-	-	0.9	-
Ф	<i>Paratylenchus</i>	0.6	-	-	0.9	2.4	2.8	4.1	25.8
Ф	<i>Pratylenchoides</i>	-	0.8	-	-	-	1.5	-	-
Ф	<i>Pratylenchus</i>	15.9	9.6	23	14.4	56.7	42.5	13.5	2.2
Ф	<i>Psilenchus</i>	-	-	-	0.5	-	-	4.6	-
Ф	<i>Rotylenchus</i>	-	-	14.9	8.5	5.5	1.3	-	-
Ф	<i>Tylenchorhynchus</i>	2.4	4.2	2.5	-	5.4	1.2	0.4	-
Ф	<i>Xiphinema</i>	5.1	4.2	11	32.9	16.1	18.1	0.4	21.1
Ф	<i>Aphelenchoides</i>	4.8	5.8	11	3.7	5.8	9.2	5.2	6.7
Ф	<i>Ditylenchus</i>	0.4	-	-	5.6	-	-	7	14.5
М	<i>Tylencholaimellus</i>	-	-	26.6	0.6	27.4	25.4	87.5	48.5
М	<i>Aphelenchus</i>	14.6	10.8	10.7	5.1	24	23.7	24.8	15.5
М	<i>Paraphelenchus</i>	2.3	-	8.8	2.3	1.4	3	1.4	4.5
Б	<i>Acrobeles</i>	27.7	31	51.8	22.3	31.8	89.9	27.3	24.4
Б	<i>Eucephalobus</i>	9.6	16.4	35.7	16.6	17.9	18.7	9.8	8.3
Б	<i>Acrobeloides</i>	5.8	7	2.6	19.2	4	22.4	14.6	26.1
Б	<i>Alaimus</i>	1.2	0.8	12.6	2.4	6.2	6.7	2.7	7.2
Б	<i>Amphidelus</i>	-	0.2	-	-	3.8	-	1.1	-
Б	<i>Anaplectus</i>	0.4	-	5.6	0.5	1.2	3.7	-	-
Б	<i>Cephalobus</i>	4.5	3	1.4	2.6	13.3	2.5	6.8	10.7
Б	<i>Cervidellus</i>	-	-	-	0.9	-	-	1.7	-
Б	<i>Chiloplacus</i>	-	-	-	-	-	2.7	0.7	6.8
Б	<i>Ereptonema</i>	-	-	-	-	-	1.4	-	-
Б	<i>Eumonhystera</i>	-	-	-	-	-	-	13.2	9.6
Б	<i>Halicephalobus</i>	-	-	-	-	-	-	2.5	-
Б	<i>Heterocephalobellus</i>	1.6	-	2.8	3.4	14.3	-	-	-
Б	<i>Heterocephalobus</i>	0.6	-	1.2	-	-	1.5	-	1.1

## Продолжение Таблицы 2.

Трофические группы	Род	Ключевой участок							
		апрель 2017		июль 2017		сентябрь 2018		февраль 2018	
		№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2
Б	<i>Kirjanovae</i>	0.7	4.8	-	-	4.7	4.4	-	2.1
Б	<i>Metacrobeles</i>	0.4	-	-	-	-	-	-	-
Б	<i>Monhystera</i>	-	-	-	-	-	-	1.2	2.1
Б	<i>Panagrolaimus</i>	-	-	-	-	-	-	0.8	1.5
Б	<i>Paracrobeles</i>	-	-	-	-	-	1.7	-	-
Б	<i>Plectus</i>	-	0.5	6.6	0.9	-	-	3.1	-
Б	<i>Prismatolaimus</i>	1.2	0.7	19.6	6.6	8.5	11.9	-	-
Б	<i>Pseudacrobeles</i>	-	-	-	-	-	-	1	-
Б	<i>Rhabditis</i>	-	0.3	-	-	-	-	-	-
Б	<i>Seleborca</i>	15.8	4.5	6.5	1.1	-	-	-	-
Б	<i>Stegelleta</i>	0.4	0.3	-	-	-	1.4	-	-
Б	<i>Stegelletina</i>	-	-	-	-	-	3.1	-	-
Б	<i>Wilsonema</i>	-	-	-	-	-	-	-	2.5
В	<i>Aporcelaimellus</i>	63.6	38.3	166.8	106.2	91.3	150.5	6.2	17.5
В	<i>Eudorylaimus</i>	48.9	34.1	146.1	46.1	155.6	83.7	17.2	37.4
В	<i>Pungentus</i>	-	-	88.2	37.1	18.7	168.8	-	-
В	<i>Allodorylaimus</i>	2.8	0.2	8.1	-	-	-	-	-
В	<i>Aporcelaimus</i>	-	0.4	-	0.9	2.2	-	-	0.7
В	<i>Dorylaimus</i>	2.3	1.3	-	0.9	-	-	-	-
В	<i>Ecumenicus</i>	-	0.6	58	24.1	6.6	23.3	-	-
В	<i>Enchodelus</i>	8.8	3.2	-	1.9	13.1	4.7	16.5	27.5
В	<i>Epidorylaimus</i>	-	0.7	-	-	-	-	-	-
В	<i>Heterodorus</i>	-	0.3	5.9	1.8	-	6.9	0.4	-
В	<i>Mesodorylaimus</i>	-	-	1.5	1.1	-	1.2	-	-
В	<i>Microdorylaimus</i>	0.4	0.5	9.9	17.2	17.5	28.8	20.2	26.3
В	<i>Paraxonchium</i>	11.1	1.9	16.2	7.3	1.8	14.5	4.3	3.7
В	<i>Prodorylaimus</i>	-	0.2	-	-	-	1.2	-	-
Х	<i>Nygolaimus</i>	23.7	10.1	174.8	119.8	85.5	88.1	27	17.9
Х	<i>Paravulvus</i>	1.6	-	70.1	4.8	-	6.9	-	-
Х	<i>Clarkus</i>	-	-	2.8	1.7	7.3	3.3	6.2	14.4
Х	<i>Coomansus</i>	-	-	-	-	-	-	0.4	-
Х	<i>Discolaimum</i>	-	-	-	-	-	1.2	0.7	0.8
Х	<i>Discolaimus</i>	0.4	1.9	32.5	1.2	5.3	4.4	16.7	21.2
Х	<i>Prionchulus</i>	-	-	-	2.2	-	-	-	-
Х	<i>Seinura</i>	1.5	0.5	-	-	-	-	0.7	-
Х	<i>Tobrilia</i>	1.6	-	8.4	-	-	3.1	-	-
Х	<i>Tobrilus</i>	-	-	-	-	-	6.6	-	-
Х	<i>Tripylina</i>	-	0.3	-	-	-	-	-	-

**Примечание к таблице 2:** №1 – целинный биотоп, №2 – пастбищный биотоп, Ф – фитотрофы, М – микотрофы, Б – бактериотрофы, В – всеядные, Х – хищники.

Осенью доминируют рода: *Amplimerlinius*, *Helicotylenchus*, *Dorylaimellus*, *Tylenchus*, *Acrobeles*, *Aporcelaimellus*, *Eudorylaimus*, *Pungentus*, *Nygolaimus*. Для пастбищного участка характерно доминирование рода *Dorylaimellus*, а для целинного *Acrobeles* и *Pungentus*. Зимой структура фауны претерпевает достаточно большие изменения и на участках доминируют такие роды как *Filenchus*, *Lelenchus* из фитотрофов, *Tylencholaimellus* из группы микотрофов и продолжают доминировать *Helicotylenchus*, *Tylenchus*. Характерное доминирование некоторых родов (*Acrobeles* и *Eudorylaimus*) в зимний период отмечено только для пастбищного участка.

Весной численность нематод имеет наименьшие значения, однако на целинном участке этот показатель был в 1.5 раза больше, чем на пастбищном. Рассматривая структуру эколого-трофических групп видно, что большинство групп имеет от 1.6 до 2.2 раз больше численность на целинном участке, чем на пастбищном, кроме группы бактериотрофов – они по численности остаются неизменными. По соотношению численности трофических групп все группы имеют небольшие различия, кроме группы бактериотрофов. На пастбищном участке их соотношение к остальным группам больше, чем на целинном участке, и составляет 25% (рис. 3, табл. 2).

В летний период численность нематод имеет наибольшие значения на целинном участке – этот показатель в 2 раза больше по сравнению с пастбищным. Отмечено, что в этот период численность некоторых эколого-трофических групп в целинном биотопе в 1.5-1.6 раз выше, чем на пастбищном. По соотношению численности эколого-трофических групп между двумя участками группы: хищников, бактериотрофов, всеядных и микотрофов имеют небольшие различия – до 3%. Такая численность и распределение объясняется тем, что растительный покров на пастбищном участке более нарушен и верхние горизонты почвы сильнее подвержены высоким температурам и ветровой эрозии, в следствие чего – в большей степени иссушены и деградированы, чем на целинном участке.

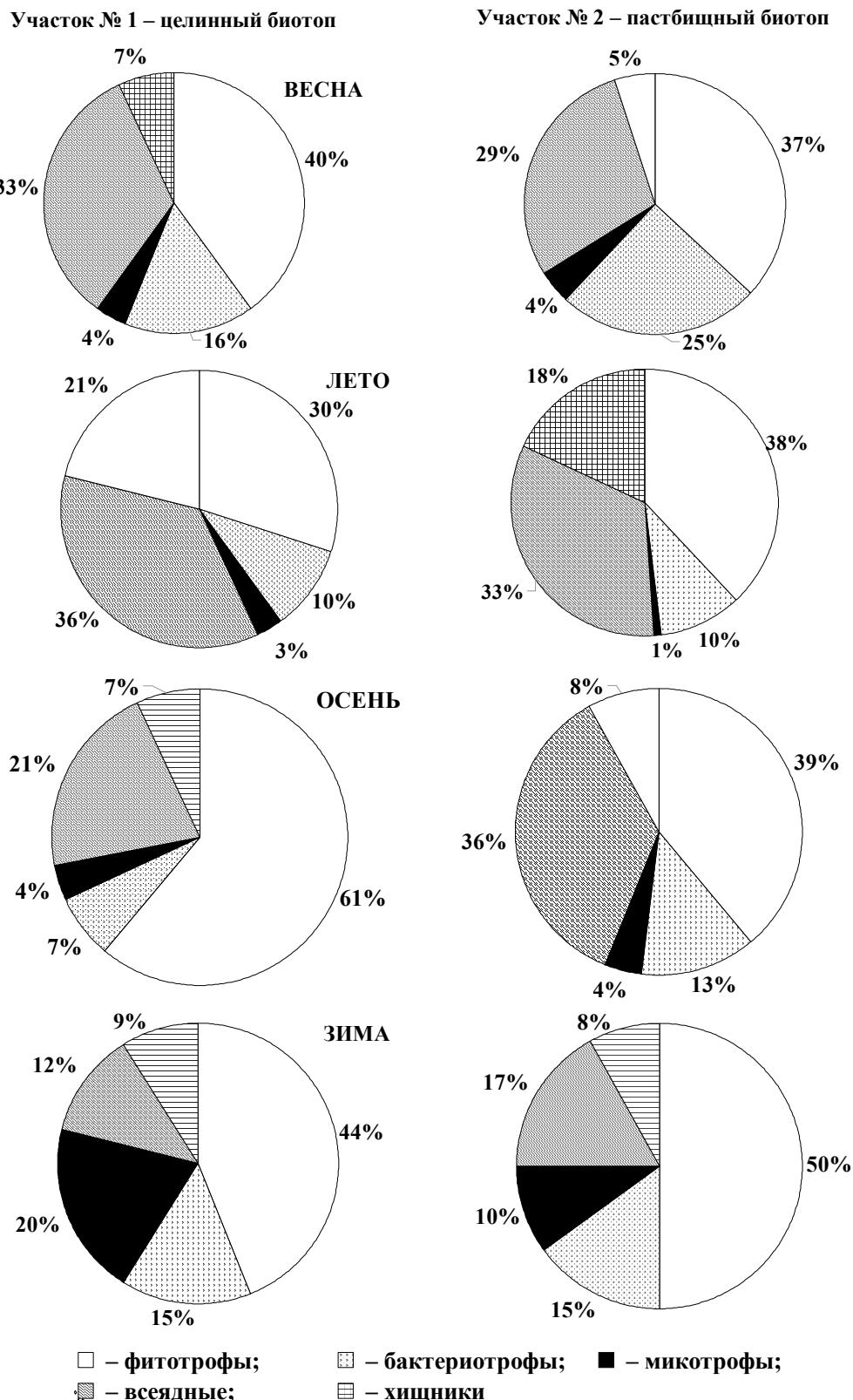
В осенний период почвенные условия на двух исследуемых участках в верхних горизонтах однотипные за счет сложившихся климатических условий (увеличения влажности и понижения температуры по сравнению с летним периодом), при этом показатель численности увеличивается на обоих участках по сравнению с другими сезонами. Такая сезонная динамика численности нематод отмечена в работах других авторов для почв разных регионов (Даниленко, 2000; Шестеперов, 1985; Романенко, 2000). Группа фитотрофов по численности больше в 1.6 раза на целинном участке, чем на пастбищном (рис. 3, табл. 2), а группы бактериотрофов и всеядных, напротив, больше по числу в пробах на пастбищном участке, чем на целинном и превосходят их в 1.6 раза за счет родов *Acrobeles*, *Aporcelaimellus*, *Pungentus* (рис. 3, табл. 2).

Самыми малочисленными группами по отношению к другим, на двух ключевых участках являются: бактериотрофы, хищники и микотрофы. Их доля составляет от 4 до 13% на обоих участках. Доминирующей группой на целинном участке является группа фитотрофов 61%. На пастбищном участке доминируют группы: всеядные (36%) и фитотрофов (39%).

Зимой общая численность почвенных нематод на участках по сравнению с осенью уменьшается в связи с изменением климатических и почвенных условий. На обоих участках сократились в численности особи, относящиеся к крупным формам с большими значениями с-р из группы всеядных, которые чувствительны к неблагоприятным условиям окружающей среды. По соотношению численности, на обоих участках большую часть фауны представляют фитотрофы от 44 до 50% (доминируют рода: *Helicotylenchus*, *Tylenchus*, *Lelenchus*) за счет вторичной вегетации растений в период с октября по январь, а также благодаря мягкой зиме в период исследований (табл. 1). Самой малочисленной, по отношению к общей численности, осталась группа хищников, все остальные группы заняли почти одинаковое отношение численности к остальным группам и составили от 12 до 17%, кроме группы микотрофов, которая на целинном участке составляла 20% от всей численности, а на пастбищном – 10%. В связи с тем, что растительный покров сухой степи формирует задерненный верхний слой (степной войлок), удерживающий осадки в виде дождя и снега, под ним формируются благоприятные условия для развития грибов и мхов, которыми в свою очередь питаются микотрофы и фитотрофы. Это подтверждает то, что на целинном участке отмечено преобладание рода *Tylencholaimellus* из группы микотрофов. В зимний период на целинном участке по сравнению с осенью индекс зрелости сообществ нематод возрастает до 2.06, а на пастбищном – уменьшается и составляет 1.85.

При сравнении показателей обилия эколого-трофических групп пастбищного участка и индексов, характеризующих состояние сообществ почвенных нематод, отмечено некоторое их сходство в

сезонной динамике. Соотношение таких эколого-трофических групп как фитотрофы, всеядные и микротрофы, претерпевают незначительные изменения, что связано с изреженностью растительного покрова и уничтожению дерновинных злаков при выпасе. Это обуславливает более плавный характер их распределения по вегетационным сезонам.



**Рис. 3.** Соотношение эколого-трофических групп почвенных нематод на ключевых участках.

Летом на целинном участке отмечено высокое проективное покрытие растительного покрова и увеличение плотности корневой массы растений, а также повышение температурных показателей, что способствовало сокращению доминирующих видов трофической группы фитотрофов, однако, численность, по сравнению с пастбищным участком почти 1.5 раза больше.

Осенью во влажный период дерновинные злаки на целинном участке задерживают влагу, это в свою очередь создает условия для вторичной вегетации растений и наблюдается увеличение соотношения группы почвенных нематод – фитотрофов. В осенний период из группы фитотрофов доминируют виды из следующих родов: *Dorylaimellus*, *Amplimerlinius*, *Tylenchus* и *Dorylaimellus* (табл. 2). В связи с тем, что фитотрофы не учитываются в расчете индекса зрелости сообществ нематод (MI) – летом на целинном участке отмечено увеличение этого показателя до 3.05, а осенью, напротив, падение до 1.64.

### Выводы

На целинном и пастбищном биотопах в период исследований (с апреля 2017 г. по февраль 2018 г.) было выявлено 133 таксона почвенных нематод, точная видовая принадлежность дана для 58 видов. Также выявлено 16 родов, почвенных нематод, которые составляют основную часть структуры сообществ относящиеся к эудоминантам и доминантам, которые весной занимают 58.1-63.3% от общей численности всех обнаруженных родов, летом – 57.4-61.4%, осенью – 58.1-62.6%, зимой – от 43.3 до 44.2% соответственно.

Выявлено что эколого-популяционные индексы сообществ почвенных нематод, для целинных и пастбищных биотопов, изменяются в течении года по-разному.

Индекс Шеннона ( $H'$ ) в течении года на обоих участках изменялся в пределах одних и тех же значений (на целинном участке 1.10-1.24, на пастбищном участке 1.07-1.27 и имел минимальные значения весной и максимальные зимой. В сезонной динамике показателей индекса видового разнообразия отмечено, что летом он увеличивается и на целинном участке значения больше, чем на пастбищном (1.23 и 1.15, соответственно), а осенью, напротив, на целинном значения уменьшаются до 1.16, а на пастбищном продолжают расти до 1.25. В целом индекс Шеннона показывает, что видовое разнообразие почвенных нематод для каштановых почв сухостепной зоны исследуемого региона достаточно богатое.

Отмечено что для пастбищного биотопа показатели, обилия эколого-трофических групп и индексов, характеризующих состояние сообществ почвенных нематод, имеют некоторое сходство в сезонной динамике. Соотношение таких эколого-трофических групп как фитотрофы, всеядные и микотрофы, претерпевают незначительные изменения, что связано с изреженностью растительного покрова и уничтожению дерновинных злаков при выпасе. Это обуславливает более плавный характер их распределения по вегетационным сезонам. Для целинного биотопа отмечен более резкий характер в сезонной динамике распределения трофических групп почвенных нематод.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абатуров Б.Д. 1979. Биопродукционный процесс в наземных экосистемах (на примере экосистем пастбищных типов). М.: Наука. 130 с.
- Абатуров Б.Д. 2006. Пастбищный тип функционирования степных и полупустынных экосистем // Успехи современной биологии. Т. 125. № 5. С. 435-447.
- Абатуров Б.Д., Кулакова Н.Ю. 2010. Роль выпаса животных и степных палов в круговороте азота и зольных элементов в степных пастбищных экосистемах // Аридные экосистемы. Т. 16. № 2 (42). С. 54-64.
- Агрохимические методы исследования почв. 1975. М.: Наука. 655 с.
- Аринушкина Е.В. 1970. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ. 487 с.
- Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. 1973. Методы исследования физических свойств почв и грунтов. М.: Высшая школа. 399 с.
- Даниленко Д.Г. 2000. Биоразнообразие и структура населения почвенных нематод подзоны северной тайги Республики Коми: Автореф. дис. канд биол. Наук. Сыктывкар. 22 с.
- Джапанова Р.Р., Санкуева З.М., Трофимов И.А. 1991. Сезонная и погодичная динамика видового состава, урожайности и запасов корма белополынных пастбищ Северо-Западного Прикаспия (Калмыцкая АССР) // Растительные ресурсы. Т. 27. №. 4. С. 1-10.
- Ильина Л.П., Ковда И.В., Невидомская Д.Г., Сушко К.С., Моргун Е.Г. 2014. Особенности формирования, состав и свойства сухостепных солонцевато-слитых почвенных комплексов Долины Маныча // Вестник Южного научного центра. Т. 10. № 4. С. 61-72.

- Ильина Л.П., Сушко К.С.* 2018. Особенности формирования, состав и свойства сухостепных засоленных почвенных комплексов Долины Маныча // Труды Южного научного центра РАН. Т. VII. Природные и антропогенные факторы в трансформации экосистем Западного Маныча. Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН. С. 138-151.
- Классификация и диагностика почв СССР. 1977. М.: Изд-во «Колос». 289 с.
- Классификация и диагностика почв России. 2004. Авторы и составители: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена. 342 с.
- Козловская Л.С.* 1976. Роль беспозвоночных в трансформации органического вещества болотных почв. Л.: Наука. 211 с.
- Лебедева Н.В., Ильина Л.П., Пономарёв А.В., Савицкий Р.М.* 2011. Влияние пастбищной нагрузки на трансформацию сухостепных экосистем в долине Маныча // Аридные экосистемы. Т. 17. № 4 (49). С. 83-94. [Lebedeva N.V., Ilyina L.P., Ponomarev A.V., Savitsky R.M. The effect of grazing intensity on the transformation of arid-steppe ecosystems in the Manych Valley // Arid Ecosystems. Vol. 1. No. 4. P. 251-259. Электронный ресурс <https://link.springer.com/article/10.1134/S207909611104010X> (дата обращения )].
- Лебедева Н.В., Пономарёв А.В., Савицкий Р.М., Арзанов Ю.Г., Ильина Л.П.* 2010. Наземная фауна как показатель пастбищной нагрузки// Вестник Южного научного центра РАН, Т.6. № 4. С.84-95.
- Матвеева Е.М., Сушик А.А., Калинкина Д.С.* 2015. Сообщества почвенных нематод агроценозов с монокультурами (на примере Республики Карелия) // Труды Карельского научного центра РАН. № 2. С. 16-32.
- Метлицкий О.З.* 1985. Экологические и технологические основы обнаружения нематод // Принципы и методы экологической фитонематологии. Петрозаводск: Карелия. С. 18-35.
- Метлицкий О.З., Матвеева М.А.* 1975. Методические указания по выявлению и учету численности нематод на ягодных культурах. М.: Колос. 24 с.
- Мяло Е.Г., Левин О.В.* 1996. Современное состояние и тенденции развития растительного покрова Черных земель // Аридные экосистемы. Т. 2. № 2-3. С. 145-152.
- Опарин М.Л., Опарина О.С., Цветкова А.А.* 2004. Выпас как фактор трансформации наземных экосистем с semiаридных регионов // Поволжский экологический журнал. № 2. С. 183-199.
- Орлов Д.С., Гришина Л.А.* 1981. Практикум по химии гумуса. М.: Изд-во МГУ. 271 с.
- Песенко Ю.А.* 1982. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М. 287 с.
- Парамонов А.А.* 1962. Основы фитогельминтологии. Т. 1. М.: АН СССР. 479 с.
- Природные условия и естественные ресурсы Ростовской области. 2002. Ростов-на-Дону. 432 с.
- Романенко Е.Н.* 2000. Фауна почвенных нематод и почвенно-экологические закономерности их распространения: Автoref. дис. ... канд. биол. уаук. Москва. 27 с.
- Соловьева Г.И.* 1986. Экология почвенных нематод. Л.: Наука. 247 с.
- Черепанов С. К.* 1995. Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб. 992 с.
- Шеступеров А.А.* 1985. Изучение динамики численности фитонематод в различных природно-климатических зонах и ее значение в экологических исследованиях // Принципы и методы экологической фитонематологии. Петрозаводск. С. 51-77
- Шматко В.Ю.* 2012. Сравнение фаунистического комплекса нематод на побережье пресного и соленого водоемов // Экологическая безопасность приморских регионов (порты, берегозащита, рекреация, марикультура): материалы Международной научной конференции, посвященной 150-летию Н.М. Книповича. Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН. С. 281-283.
- Шматко В.Ю.* 2013. Сравнение фаунистических комплексов нематод различных ландшафтов Государственного Биосферного заповедника «Ростовский» // Известия Высших учебных заведений Северо-Кавказский регион. Естественные науки. № 1. С. 60-63.
- Шматко В.Ю., Ильина Л.П.* 2017. Особенности эколого-фаунистического комплекса почвенных нематод сухостепных ландшафтов долины Маныча // Аридные экосистемы. Т. 23. №3. С. 75-87. [Shmatko V.Y., Ilyina L.P. 2017. Characteristics of ecological and faunistic complex of soil nematodes in dry-steppe landscapes in Manych Valley // Arid Ecosystems. Vol. 7. No. 3. P. 191-202.]
- Шматко В.Ю., Таболин С.Б.* 2017. *Clarkus bulyshevae* sp. n. (NEMATODA, MONONCHIDA) из почвы в Ростовской области // Зоологический журнал. Т. 96. № 11. С. 1342-1346.
- Шматко В.Ю., Тихонов А.В.* 2010. К вопросу о нематодофауне устья балки Тройная Орловского района Ростовской области // Мониторинг природных экосистем долины Маныча. Труды ФГУ "Государственный природный заповедник "Ростовский"". Вып. 4. Ростов-на-Дону: СКНЦ ВШ ЮФУ. С. 138-143.
- Bongers T.* 1990. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition // Oecologia. Vol. 83. P. 14.
- Braun-Blanquet J.* 1964. Pflanzensoziologie. Grundzuge der Vegetationskunde // 3 Aufl. -Wien; New York: Springer-Verlag. 865 p.

- GIS LAB. 2019. Географические информационные системы и дистанционное зондирование. [Электронный ресурс <https://gis-lab.info> (дата обращения 25.06.2019)].
- Hall G.S. 1996. Methods for the examination of organismal diversity in soils and sediments. CAB International: Wallinford. 320 p.
- IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. 2006. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources [Рабочая группа IUSS WRB. 2015 Мировая реферативная база почвенных ресурсов 2014, исправленная и дополненная версия 2015. Международная система почвенной классификации для диагностики почв и создания легенд почвенных карт. Доклады о мировых почвенных ресурсах №106. ФАО, Рим. 203 с. [Электронный ресурс [www.fao.org](http://www.fao.org) (дата обращения 25.06.2019)]]].
- USGS science for a changing world. 2019. Geological Survey. [Электронный ресурс <https://earthexplorer.usgs.gov> (дата обращения 25.06.2019)].
- Wasilewska L., Bienkowski P. 1985. Experimental study on the occurrence and activity of soil nematodes in decomposition of plant material // Pedobiologia. Vol. 28. № 1. P. 41-57.
- Woods L.E., Cole C.V., Elliott E.T., Anderson R.V., Coleman D.C. 1982. Nitrogen transformations in soil as affected by bacterial-microfaunal interactions // Soil Biology and Biochemistry. Vol. 14. P. 93-98.
- Yeates G.W. 1971. Feeding types and feeding groups in plant and soil nematodes // Pedobiologia. Vol. 11. № 2. P. 173-179.
- Yeates G.W., Bongers T., De Goede R.G.M., Freckman D.W., Georgieva S.S. 1993. Feeding habits in soil nematode families and genera – An outline for soil ecologists // Journal of Nematology. Vol. 25. P. 315-331.

## ТИПИЗАЦИЯ ПАШНИ В АГРОЛАНДШАФТАХ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2021 г. А.М. Беляков

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций  
и защитного лесоразведения РАН

Россия, 400062, г. Волгоград, Университетский просп., д. 97. E-mail: dokbam49@mail.ru

Поступила в редакцию 24.12.2019. После доработки 30.08.2020. Принята к публикации 01.09.2020

Обозначена проблема экологического состояния агроландшафтов зоны недостаточного увлажнения и современные подходы их сохранения и улучшения на примере Волгоградской области. Представлены потенциальные агроресурсы региона, состояние и уровень производства отрасли сельского хозяйства на данный момент, на научной основе изложены методологические подходы ведения хозяйственной деятельности на принципах адаптивно-ландшафтного земледелия. Проведена типизация пашни в агроландшафтах Волгоградской области с учетом биоклиматического потенциала территории землепользования. Особое значение придается распределению пашни по уклонам, так как роль рельефа в варьировании величины урожая очень велика и составляет 40-70%, а в зависимости от эродированности почвы урожай может снижаться на 10-80%. Существует определенная корреляция между урожайностью зерновых культур и свойствами почвы. В частности, улучшение пищевого режима и повышение окультуренности почв способствуют снижению негативного влияния засухи на урожайность зерновых культур. В Федеральном научном центре агроэкологии РАН разработан метод дифференциации пашни по интенсивности использования, где в качестве основного критерия уровня плодородия почвы принята обеспеченность пахотного слоя общим гумусом. Выделено 4 градации: окультуренная, оптимальная, окологротехническая и критическая. В конечном итоге освоение адаптивно-ландшафтных подходов подтверждено результатами практического земледелия.

**Ключевые слова:** агроландшафт, адаптивное земледелие, типизация пашни, агротехнология, биоклиматический потенциал, плодородие почвы.

**DOI: 10.24411/1993-3916-2021-10143**

Современное сельское хозяйство в основе своей интенсивное, отличается использованием в производстве мощных ресурсов техногенного характера в виде системы машин, удобрений, химических средств борьбы с сорными растениями, вредителями и болезнями. Вовлекаются в оборот огромные территории, в том числе малопродуктивные, отчуждается большое количество элементов питания с урожаем, и все это отражается высокой нагрузкой на агролесоландшафты (Бараев, 1998; Агролесомелиорация, 2006).

Последствия интенсификации земледелия выражаются в переуплотнении, дегумификации, засолении почв, заболачивании территории, загрязнении воды и окружающей среды, нарушении сложившихся балансов в экосистемах, что в конечном итоге приводит к снижению урожаев и качеству продукции. Антропогенное воздействие может привести как к положительным, так и к отрицательным результатам (Жученко, 2005; Кирюшин, 2018; Масютенко и др., 2013; Dore et al., 2011; Malezieux, 2012).

На современном этапе развития земледелия академик А.Н. Каштанов сформулировал задачу для научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ – создание адаптивной системы земледелия в агроландшафтах нового поколения, создание нормативной базы формирования экологически устойчивых и высокопродуктивных агролесоландшафтов по всем регионам страны.

По факту внимательного рассмотрения объектов хозяйственной деятельности всегда обнаруживается неоднородность условий ведения сельхозпроизводства, без учета которых в практике происходит нарушение сложившейся природной среды, а в некоторых случаях и опустынивание территорий. Уровень гумуса в почве в период интенсивного использования снизился на 20-30% от

средних зональных значений, а в последние десятилетия уменьшился еще на 0.8-1.2% (Кирюшин, 2010).

Природная неоднородность определяется зональными аспектами и выражается разным биоклиматическим потенциалом территорий землепользования. Биоклиматический потенциал определяет как уровень продуктивности сельхозугодий, так и хозяйственный режим их использования, к показателям которого можно отнести плодородие почвы, влагообеспеченность, температурный и ветровой режимы, лесистость (природная и полезащитные лесные полосы), эрозионную предрасположенность почвы и т.д. (Володин и др., 2000; Масютенко и др., 2013; Сухов и др., 2007).

Целью данной работы является сохранение природных свойств ландшафта путем адаптации земледелия через сбалансированную структуру посевых площадей, севооборотов, ресурсосберегающие технологии выращивания сельскохозяйственных растений, в том числе типизацию пашни по основным критериям оценочной иерархии.

В задачи исследований входило: провести обследование состояния агроландшафтов Волгоградской области; определить методы оценки и дифференциации пашни по уклонам рельефа, плодородию почвы и интенсивности использования; выделить типологические и технологические группы пашни для целевого хозяйственного использования; провести апробацию агроландшафтных подходов дифференциации пашни в практике засушливого земледелия.

### **Материалы и методы**

Методика исследований базируется на использовании следующей научной литературы: М.Д. Гродзинский (1986), Н.Ф. Реймерс (1990), В.И. Кирюшин (1996), А.Г. Банников с соавторами (1999), В.М. Володин с соавторами (2000), А.Г. Исаченко (1991), М.И. Лопырев (2012), Н.П. Масютенко с соавторами(2004), И.П. Айдаров (2007), В.И. Кирюшин и А.Л. Иванов (2005), А.Д. Фокин (1995).

Исследование систем земледелия и агротехнологий, типизация пашни, оценка фактического состояния агролесоландшафтов Волгоградской области проводились на основе методик, разработанных Всероссийским научно-исследовательским институтом агролесомелиорации (ВНИАЛМИ), Всероссийским НИИ земледелия и защиты почв от эрозии, ФГБНУ «Росинформагротех», Федеральным научным центром агроэкологии РАН, а также Б.А. Доспеховым, П.Н. Константиновым, М.М. Горянским, методом обследования объектов, получения и анализа информации со стационарных объектов, методом исследования космоснимков.

Под методическим руководством Российской академии сельскохозяйственных наук (сегодня – РАН) с 1992 года были развернуты широкомасштабные исследования по изучению эффективности ландшафтных подходов в многоукладном сельскохозяйственном производстве (Агроэкологическая оценка ..., 2005; Методика системных исследований ..., 1985).

Адаптивно-ландшафтная система земледелия – это новая идеология, суть которой состоит в оптимизации угодий и посевых площадей, использовании влагоэнергосберегающих технологий, биологизации земледелия, улучшении свойств и плодородия почв, и поиска компромисса между экологизацией и интенсификацией земледелия.

### **Результаты и обсуждение**

Волгоградская область по площади пашни входит в число областей-шестимиллионников, является крупным производителем зерна.

Общая территория области – около 11.3 млн. га. Площадь сельхозугодий занимает примерно 8.3 млн. га (81.9%). Площадь пашни – приблизительно 5.63-6.10 млн. га (73%), в том числе не используется – 891.0 тыс. га (15.3%). Пастбища – 2419 тыс. га. Гидротермический коэффициент – 0.3-0.6, дефицит увлажнения достигает 70%. Площадь пашни на склонах – 1.7 млн. га. Функционируют 10303 крестьянско-фермерских хозяйства и 360 крупных сельскохозяйственных предприятий.

Распаханность земель с 20-30% в 1920-1930-е годы достигала 40-50% от общего количества с.-х. угодий в 1950-е годы, в период освоения целинных и залежных земель в 1954-1958 гг. их количество возросло до 70%, и общее количество пашни в Волгоградской области было доведено до 6.1 млн. га при 8.1 млн. га сельскохозяйственных угодий (Агролесомелиорация, 2006).

Условия для ведения земледелия (агробизнеса) Волгоградской области, из-за засушливости климата и низкого плодородия почв, в целом неблагоприятные. Однако к положительным аспектам

можно отнести обширную территорию, высокую солнечную инсоляцию, сумму положительных и эффективных температур, щелочную среду почвенного раствора, богатый спектр ППК, а также благоприятные условия для вызревания продукции, процесса уборки и хранения.

Для степных ландшафтов аграрной наукой на сегодня определена сбалансированная структура с.-х. угодий и посева, где доля пашни должна составлять 45-50%, оптимальная площадь поля 100 га. В структуре посева необходимо иметь: многолетних трав 9-16% (сейчас – 1.5%), кормовых – 14%, технических – 2-17%, зернобобовых – 10%. (Агроэкологическая оценка ..., 2005; Гостев и др., 2017; Каштанов и др., 1994; Кирюшин, 2010; Odum, 1971).

По системе сухого земледелия доля парового поля должна составлять 23-28%, озимых – 24.6%, яровых зерновых – 25%, подсолнечника – 3.6%, кормовых – 20.1% и пашни в обработке – 100%. На данный момент пары занимают 35-50%, озимые – 25%, яровые зерновые – 10.7%, подсолнечник – 14.3%, кормовые – 1.8%.

Кормовые культуры практически выведены из севооборота, подсолнечник засевают до 800 тыс. га (14.3%) и появилась доля пашни вне обработки 21.4%. Так как монополия озимой пшеницы и подсолнечника налицо, усилились деградационные процессы на почве и потеря плодородия, в т.ч. существует отрицательный баланс по NPK. Между озимым и яровым клином, между яровыми зерновыми и пропашными нарушен баланс.

В итоге ресурсный потенциал сельскохозяйственного производства Волгоградской области используется на 36-40%.

Напрашивается вывод, что в новых экономических условиях необходимо перейти к формированию адаптивно-ландшафтных принципов природопользования. Для этого ученые ФНЦ агроэкологии РАН разработали ландшафтную структуру земельного фонда области и провели агроландшафтное районирование территории.

Этот методологический и методический подход позволяет дифференцировать сельскохозяйственную деятельность одновременно на уровне уроцища, местности, ландшафта и водосбора (Юферев и др., 2010; Dore et al., 2011; Malezieux, 2012).

В пределах трех типологических групп нами выделено 7 агроландшафтных районов: 1) степной равнинно-волнистый черноземный; 2) сухостепной, возвышенный, темно-каштановый и каштановый; 3) пустынно-степной, плоскоравнинный, солонцово-светло-каштановый; 4) сухостепной, равнинно-волнистый, солонцово-каштановый; 5) пустынно-степной, плоскоравнинный, светло-каштановый солонцовый; 6) песчано-суглинистые лесо-луговые поймы; 7) надпойменные песчаные террасы.

Особое значение придается распределению пашни по уклонам, так как роль рельефа в варьировании величины урожая очень велика и составляет 40-70%, а в зависимости от эродированности почвы урожай может снижаться на 10-80%.

Между урожайностью зерновых культур и свойствами почвы имеется определенная корреляционная связь. Кроме того, улучшение пищевого режима и повышение окультуренности почв способствуют снижению отрицательного воздействия засухи на урожайность зерновых культур.

По данным Волгоградского предприятия ЮжНИИгипромзем, в области пашня размещается на склонах крутизной до 1° на площади 3.6 млн. га (63%), от 1 до 2° – на 1.3 млн. га (22.9%), от 2 до 3° – на 0.6 млн. га (10%), более 3° – на 254 тыс. га (4.2%; табл. 1).

Согласно агроландшафтному подходу, в Волгоградской области пашня подлежит интенсивному использованию (уклоны до 3°) – 5.5 млн. га (95.6%), умеренному (3-5°) – 226.2 тыс. га (3.9%), ограниченному (5-7°) – 23.2 тыс. га, а консервации (более 7°) – 5-8 тыс. га (табл. 1).

В ФНЦ агроэкологии РАН разработан метод дифференциации пашни по интенсивности использования, где в качестве основного критерия уровня плодородия почвы принята обеспеченность пахотного слоя общим гумусом. Выделено 4 градации: окультуренная, оптимальная, околограничная и критическая (табл. 2, 3).

Таким образом, напрашивается вывод и рекомендации производству о трансформации малопродуктивной и неиспользуемой пашни в другие виды угодий по районам области. В результате подлежит трансформации 669.2 тыс. га, в том числе в пастбища – 375.4 тыс. га, в залежь – 286.2 тыс. га, под консервацию – 7.5 тыс. га. Для обследуемого региона структура сельскохозяйственных угодий должна быть следующей: пашня – 3.5 млн. га (42%), сенокосы и пастбища – 4.7 млн. га (58%).

Ландшафтные подходы базируются на основе почвозащитной системы земледелия с расширенным воспроизведением плодородия почвы и постепенным переходом на почвозащитные,

малозатратные, энергоресурсосберегающие, минимальные технологии обработки почвы.

В наибольшей степени агроландшафтным требованиям отвечает технология мульчирующей обработки почвы. Пожнивные остатки и мульча являются универсальным средством для сохранения влаги, защищают почву от перегрева, способствуют сокращению эрозии и помогают восстанавливать почвенное плодородие, что является основополагающими звенями борьбы с засухой. По показателям биоэнергетической оценки, технология мульчирующей обработки почвы имеет преимущества (табл. 4).

**Таблица 1.** Расположение пашни по уклонам в агроландшафтных районах Волгоградской области (по данным Нижне-Волжского НИИ сельского хозяйства).

Агроландшафтные районы	Площадь пашни, тыс. га	Характеристика по уклонам, %					
		<1°	1-2°	2-3°	3-5°	5-7°	>7°
Степной равнинно-волнистый черноземный	1865.2	58.4	25.9	10.3	4.7	0.1	0.1
Сухостепной возвышенный темно-каштановый и каштановый	1069.1	38.4	37.7	17.2	5.8	0.7	0.1
Сухостепной возвышенный каштановый и плоско-равнинный солонцово-светло-каштановый (Правобережье р. Волги)	1619.2	60.3	23.2	11.6	4.7	0.2	—
Сухостепной равнинно-волнистый солонцово-каштановый (Левобережье р. Волга)	915.4	92.9	6.3	0.7	0.1	—	—
Пустынно-степной плоско-равнинный светло-каштановый солонцовый	329.9	90.7	4.7	3.7	0.8	0.1	—
По области	5798.8	62.7	22.9	10.0	3.9	0.4	0.1

Наименьшие затраты труда, расход топлива производственных и энергозатрат в расчете на 1 га отмечаются для варианта с минимальной обработкой почвы.

В результате внедрения научных разработок в практику сельскохозяйственного производства в агропромышленном комплексе Волгоградской области получен ряд существенных достижений. При соблюдении научных рекомендаций продуктивность зерновых культур в зоне светло-каштановых почв выросла в 1.8-2.1 раза. Так, если вначале прошлого столетия продуктивность пшеницы составляла 7.0-8.0 ц/га, то в 60-80-е годы – 16-20 ц/га, а в настоящий период – 20-30 ц/га.

В некоторых районах области, таких как Октябрьский, Котельниковский, Калачевский, Клетский и Новоаннинский, валовые сборы зерна составили свыше 200 тыс. т, урожайность – 28-32 ц/га.

Передовые хозяйства собирают 30-40 ц/га зерна в зоне светло-каштановых почв и 40-60 ц/га – в зоне черноземных почв.

Урожайность зерновых в отдельных с.-х. предприятиях в последние годы выросла до 3 ц/га: ОАО «Равнинный» – 25-32 ц/га, СПК «им. Ленина» – 30-33 ц/га, КФХ Олейникова Н.Н. – 24-36 ц/га, КФХ Штепо А.В. – 22-31 ц/га, КФХ Рыжкова – 35-38 ц/га, ОАО «Усть-Медведицкое» – 32-40 ц/га, КФХ Шкарупелова С.В. – 50-60 ц/га, ООО «Становское» – 40-50 ц/га.

Если раньше в 20-30-е годы выход зерна на 1 мм осадков составлял 3.5-5.0 кг, в 60-80-е годы – 5.0-7.0 кг, то на данный момент получают 8.0-10.0 кг зерна и более.

Валовой сбор зерна стабилизировался на уровне 3.0-4.0 млн. т, а в рекордных 1976 и 1978 гг. он составил 7.6 и 7.8 млн. т соответственно. В 2016 г. валовые сборы составили 4.6, в 2017 г. – 5.7 млн. т, масла семян подсолнечника – 0.8-1.0 млн. т, овощей – более 1.0 млн. т.

Имеются примеры позитивного решения проблемы экологизации земледелия.

Так, КФХ Шкарупелова С.В. расположено в северной части Волгоградской области Киквидзенского района, где рельеф местности сильно расчленен овражно-балочной сетью с высоким проявлением водной эрозии. Общая площадь пашни – 8600 га. Почва относится к южным черноземам

с содержанием гумуса в 3.0-5.0%; 45-60% площади пашни составляет тяжелосуглинистая, 30-45% – среднесуглинистая. Севооборот – 4-польный по классической технологии: пар – озимая пшеница – яровые сборные – подсолнечник; и 3-польный по технологии прямого посева: озимая пшеница – кукуруза на зерно – подсолнечник с клином многолетних трав 8% от площади пашни. Основная обработка почвы в 4-польном севообороте дифференцировалась на глубокую вспашку под подсолнечник и кукурузу (27-28 см) и мелкую – под озимую пшеницу, яровые зерновые. Поля под чистый пар обрабатывались дисковатором на глубину 10-12 см. Соотношение классики и прямого посева по площади составляли 60:40%.

**Таблица 2.** Шкала агроэкологической типизации пашни по интенсивности хозяйственного использования в степном равнинно-волнистом черноземном агроландшафте (составлено по данным Нижне-Волжского НИИ сельского хозяйства).

Содержание гумуса в пахотном слое, %			Обеспеченность почвы гумусом	Тип хозяйственного использования	Системы земледелия	Административные районы области
тяжело-суглинистая почва	средне-суглинистая почва	легко-суглинистая почва				
Обыкновенный чернозем						
>6.0	>4.5	>4.0	окультуренная	интенсивный	зернопаропропашная	
5.4-6.0	4.3-4.5	3.8-4.0	оптимальная	умеренный	зернопаротравяная	
5.0-5.3	3.6-4.0	3.0-3.3	околокритическая	ограниченный	зернотравяная	
4.5-4.8	3.4-3.6	2.5-2.8	критическая	консервация	травопольная по типу длительного залужения и перезалужения	Киквидзенский Нехаевский Новоаннинский Новониколаевский Урюпинский
Южный чернозем						
>4.7	>3.8	3.0	окультуренная	интенсивный	зернопаропропашная	
4.5-4.7	3.5-3.8	2.6-3.0	оптимальная	умеренный	зернопаротравяная	
4.0-4.2	2.9-3.1	1.7-2.0	околокритическая	ограниченный	зернотравяная	
3.5-3.7	2.4-2.6	1.2-1.5	критическая	консервация	травопольная длительного залужения	Алексеевский Даниловский Еланский Михайловский Подтепловский Руднянский

Уровень применения минеральных удобрений в среднем составил 86 кг д.в. на 1 га пашни.

Урожайность культур за 2003-2018 гг. была стабильной. Так, урожайность озимой пшеницы составила 40-45 ц/га, ячменя – 28-32 ц/га, подсолнечника – 15-17 ц/га, нута – 15 ц/га, кукурузы на зерно – до 45 ц/га. В 2008 году отдельные поля озимой пшеницы сорта Зерноградка-11 давали до 70 ц/га.

В результате технологии прямого посева существенно снизились проявления водной и ветровой эрозии. В марте 2015 года на территории землепользования ветровая эрозия практически не проявилась, тогда как по области она нанесла существенный урон и вынос почвы достигал 12-28 т/га.

Прирост гумуса за первые 5 лет составил 0.04%, за 15 лет – 0.51%, при этом площадь с высокой обеспеченностью гумуса выросла до 59.8% от площади пашни, а с низкой упала с 43% в 2003 году до 16.0% в 2018 году (табл. 5).

Обеспеченность почв подвижным фосфором выросла существенно, средняя – с 42 до 66.4%, высокая – с 15.0 до 24.2%, низкая – с 43 до 9.4%. Площадь пашни со средней и высокой обеспеченностью

почвы фосфором выросла с 4902 га в 2003 году до 6174 га в 2008 году и 7792 га в 2018 году.

Причиной роста продуктивности культур и почвенного плодородия в КФХ С.В. Шкарупелова являлись оставление растительных остатков, возросший уровень применения удобрений (86 кг/га), дифференцированная обработка почвы, существенное нивелирование эрозионных процессов почвы, сбалансированный севооборот с клином многолетних трав до 8%.

**Таблица 3.** Шкала типизации пашни в сухостепных каштановых агроландшафтах (по данным Нижне-Волжского НИИ сельского хозяйства).

Содержание гумуса, %	Обеспеченность почвы гумусом	Тип хозяйственного использования	Системы земледелия и характер травосеяния	Административные районы
Сухостепной возвышенный темно-каштановый агроландшафтный район				
>3.2	окультуренная	интенсивный	зернопаровая	Жирновский Клетский Котовский Ольховский Серафимовичский Фроловский
2.6-3.2	оптимальная	умеренный	парозернотравяная	
2.0-2.6	околокритическая	ограниченный	травопольная	
<2.0	критическая	консервация	залужение	
Сухостепной возвышенный каштановый агроландшафтный район				
>3.0	окультуренная	интенсивный	парозерновая	Городищенский Дубовский Иловлинский Камышинский Быковский Николаевский Старополтавский Калачевский Котельниковский Суровикинский
2.4-3.0	оптимальная	умеренный	парозернотравяная	
1.6-2.0	околокритическая	ограниченный	травопольная	
<1.6	критическая	консервация	постоянное залужение	
Полупустынно-степной плоскоравнинный светло-каштановый агроландшафтный район				
>2.5	окультуренная	интенсивный	парозерновая	Светлоярский Среднеахтубинский
1.8-2.5	оптимальная	умеренный	зернотравяная	
1.5-1.8	околокритическая	ограниченный	залужение	
<1.5	критическая	консервация	постоянное залужение	

**Таблица 4.** Биоэнергетические показатели энергосберегающей обработки почвы в среднем за 1981-2018 гг.

Севообороты	Варианты обработки почвы	Затраты энергии на 1 га, МДж	Коэффициент биоэнергетической эффективности
Черный пар – озимая пшеница – яровая пшеница – ячмень (контроль)	отвальная (контроль)	19.4	2.7
	мелкая	18.1	2.8
Черный пар – озимая пшеница	отвальная (контроль)	19.4	2.8
	мелкая	18.7	2.9

**Таблица 5.** Динамика изменения показателей плодородия почвы в КФХ Шкарупелова С.В. за 2003-2018 гг.

№ п/п	Показатели	Годы		
		2003	2008	2013- 2018
1	Обследуемая площадь пашни, га	8600	8600	8600
2	Содержание гумуса в почве, %	3.60	3.64	4.11
3	Обеспеченность почвы гумусом, % от площади: – низкая – средняя – высокая	43.0 40.5 16.5	28.8 43.0 28.2	16.0 34.2 59.8
4	Обеспеченность почвы подвижным фосфором ( $P_2O_5$ ), % от площади: – низкая – средняя – высокая	43.0 42.0 15.0	28.2 50.2 21.6	9.4 66.4 24.2
5	Обеспеченность почвы обменным калием, % от площади: – средняя – высокая	1.8 98.2	9.9 90.1	45.7 54.3

### Заключение

Таким образом, в Волгоградской области проведена типизация пашни на принципах адаптивно-ландшафтного земледелия и апробирована в практике сельскохозяйственного производства. Освоение принципов и подходов адаптивно-ландшафтного земледелия подтверждено позитивными результатами.

Перспектива развития аграрного сектора экономики Волгоградской области и реализация природного потенциала состоит в освоении адаптивно-ландшафтной системы земледелия и использовании ресурсосберегающих технологий возделывания сельскохозяйственных культур, которые позволяют стабилизировать плодородие почвы, нивелировать эрозионные процессы, обеспечить получение стабильно высоких урожаев, формировать сбалансированные агролесоландшафты.

Предлагается адаптивно-ландшафтное природопользование и поиск новых методов рационального землепользования, целью которого является стабилизация структурно-функциональных свойств ландшафта (иерархия его подсистем и процессов энергомассопереноса) путем адаптации хозяйственной деятельности, в том числе в земледелии (структуры посевных площадей, севооборотов, технологий выращивания сельскохозяйственных растений с учетом их требовательности к условиям среды обитания и т.п.), тем самым, обеспечивая максимальное приближение агроландшафтов к гомеостазу, характерному для естественных девственных ландшафтов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агролесомелиорация. 2006 / Ред. А.Л. Иванов, К.Н. Кулик. Волгоград: ВНИАЛМИ. 746 с.
- Агрэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий: Методическое руководство. 2005 / Ред. В.И. Киришин, А.Л. Иванов. М.: ФГНУ «Росинформагротех». 794 с.
- Айдаров И.П. 2007. Обустройство агроландшафтов России. М.: МГУП. 159 с.
- Банников А. Г., Вакулин А.А., Рустамов А.К. 1999. Основы экологии и охрана окружающей среды. 4-е изд. перераб. и доп. М.: Колос. 304 с.
- Бараев А.И. 1998. Почвозащитное земледелие: Избранные труды (к 90-летию А.И. Бараева). Новосибирск. 168 с.
- Володин В.М., Еремина Р.Ф., Михайлова Н.Ф. 2000. Методика определения экологической емкости и биоэнергетического потенциала территории агроландшафта. Курск: ЮМЭК. 31 с.

- Гостев А.В., Пыхтин И.Г., Нитченко Л.Б., Плотников В.А., Пыхтин А.И.* 2017. Система оценки экологической сбалансированности агроландшафта и степени соответствия используемой в нем системы земледелия // Земледелие. № 8. С. 3-6.
- Гродзинский М.Д.* 1986. Методы оценки устойчивости геосистем к антропогенным воздействиям // Физическая география и геоморфология. Вып. 33. С. 32-38.
- Жученко А.А.* 2005. Адаптивное земледелие. // Основы систем земледелия Ставрополя / Ред. В.М. Пенчуков, Г.Р. Дрожко. Ставрополь. С. 73-113.
- Исаченко А.Г.* 1991. Ландшафтovedение и физико-географическое районирование: Учебник для вузов. М.: Высшая школа. 366 с.
- Каштанов А.Н., Лисецкий Ф.Н., Швебс Г.И.* 1994. Основы ландшафтно-экологического земледелия. М.: Колос. 127 с.
- Кирюшин В.И.* 1996. Экологические основы земледелия. М.: Колос. 367 с.
- Кирюшин В.И.* 2010. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирования агроландшафтов. М.: Колос. 740 с.
- Кирюшин В.И.* 2018. Экологические основы проектирования сельскохозяйственных ландшафтов: учебник. СПб.: ООО «Квадро». 586 с.
- Лопырев М.И.* 2012. Устройство агроландшафтов для устойчивого земледелия: учебно-методическое пособие. Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ. 108 с.
- Масютенко Н.П., Шеховцова В.В., Шеховцов А.И., Леонтьева Е.В.* 2004. Научные основы и методы оценки энергетического состояния почв в агроландшафтах. Курск: ВНИИЗиЗПЭ РАСХН. 61 с.
- Масютенко Н.П., Чуян Н.А., Бахирев Г.И., Кузнецов А.В., Брескина Г.М., Дубовик Е.В., Панкова Т.И., Калужский А.Г.* 2013. Система оценки устойчивости агроландшафтов для формирования экологически сбалансированных агроландшафтов. Курск: ГНУ ВНИИЗ и ЗПЭ РАСХН. 50 с.
- Методика системных исследований лесоаграрных ландшафтов. 1985. М.: ВАСХНИЛ. 112 с.
- Реймерс Н.Ф.* 1990. Природопользование. Словарь-справочник. М.: Мысль. 639 с.
- Сухов А.Н., Балашов В.В., Филин В.П., Москвичев А.Ю., Зеленев А.В., Левкин В.Н.* 2007. Системы земледелия Нижнего Поволжья: Учебное пособие. Волгоград: Изд-во ВГСХА «НИВА». 344 с.
- Юферев В.Г., Кулик К.Н., Рулем А.С., Мушаева К.Б., Кошелев А.В.* 2010. Геоинформационные технологии в агролесомелиорации. Волгоград: ВНИАЛМИ. 102 с.
- Фокин А.Д.* 1995. Устойчивость почв и наземных экосистем: подходы к систематизации понятий и оценке // Известия ТСХА. Вып. 2. С. 71-85.
- Odum E.P.* 1971. Ecology. Holt London. 152 p.
- Dore T., Makowski D., Malézieux E., Munier-Jolain N., Tchamitchian M., Tittonell P.* 2011. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: revisiting methods, concepts and knowledge. // Eur J. Agron. P. 197-210.
- Malezieux E.* 2012. Designing cropping systems from nature // Agronomy for Sustainable Development. Vol. 32. Is. 1. P. 15-29.

ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 556.04:551.582 (282.247.361)

ТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РЕЧНЫХ ВОД КАК ОТВЕТНАЯ РЕАКЦИЯ НА  
КЛИМАТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В БАССЕЙНЕ ВЕРХНЕГО ДОНА<sup>1</sup>

© 2021 г. В.А. Дмитриева\*, С.В. Бучик\*\*

\*Воронежский государственный университет

Россия, 394036, г. Воронеж, Университетская пл., д. 1. E-mail: verba47@list.ru

\*\*ООО «Центр-Дорсервис»

Россия, 394026, г. Воронеж, Московский просп., д. 5а. E-mail: bychik\_svetlana@mail.ru

Поступила в редакцию 18.08.2020. После доработки 30.08.2020. Принята к публикации 01.09.2020.

Формирование современного термического режима рек Верхнего Дона происходит в условиях регионального изменения климата, являющегося откликом на глобальные климатические вызовы. Увеличение среднегодовой температуры воздуха приземного слоя атмосферы Верхнего Дона в среднем почти на 1°C в первом десятилетии текущего столетия меняет тепловой режим речной воды, в свою очередь отражающего постоянное взаимодействие двух сфер географической оболочки – атмосферы и гидросфера. Одновременно водные массы контактируют с ложем водного объекта, что также отражается на тепловом состоянии воды. В условиях постоянного взаимодействия и взаимовлияния различных сред тепловое состояние атмосферы далеко не всегда оказывается ведущим фактором в динамике температуры речной воды. При односторонней тенденции в динамике региональной температуры воздуха и ее повышении на всей водосборной площади Дона характер ответной реакции в температуре воды оказывается неоднозначным и даже противоречивым. В правобережных притоках Дона – рр. Красивая Мечка, Девица, Черная Калитва и др., стекающих в главную реку со Среднерусской возвышенности, максимальная температура воды устойчиво снижается. В левобережных притоках Дона – рр. Воронеж, Битюг, впадающих в Дон с Окско-Донской низменной равнины, температура повышается. В р. Подгорная, также левобережном притоке, но стекающем в Дон с Калачской возвышенности, температура снижается. В собственном русле реки Дон фиксируется некоторое увеличение температуры. Неоднозначная реакция температуры поверхностного слоя воды объясняется внутригодовым перераспределением речного стока, снижением объемов снегового питания, возрастанием доли и роли подземного питания в период формирования максимумов температуры воды.

*Ключевые слова:* Верхний Дон, климат, термический режим, температура воздуха, температура воды.

**DOI: 10.24411/1993-3916-2021-10144**

Термический режим поверхностных водных объектов, включающий динамику температуры воды и стока теплоты, относится к слабоизученной области гидрологического режима в современных климатических условиях. С одной стороны, это объясняется недостаточностью исходной информации, связанной с небольшим количеством гидрологических пунктов наблюдений за температурой воды, существенно сократившихся с конца 1980-х годов, а с другой стороны, сложностью и многофакторностью формирования теплового режима поверхностных вод. Однако термический режим рек представляет значительный интерес для водопользования в условиях меняющегося климата и в связи с этим требует более пристального изучения. В отечественных и зарубежных научных публикациях отмечается увеличение среднегодовой и максимальной температуры воды, но на локальных территориях внутри континентов общие тенденции могут нарушаться (Webb et al., 2008; Магрицкий, 2009; Алексеевский и др., 2014; Hannah, Garner, 2015;

<sup>1</sup> Работа выполнена по теме гранта РФФИ № 20-05-00779 «Комплексная геоэкологическая диагностика состояния хозяйствственно-питьевого и рекреационного водопользования территории крупного урбанизированного региона».

Будник, 2019; Василенко, 2019).

Тепловой режим речной воды является отражением постоянного взаимодействия двух сфер географической оболочки – атмосферы и гидросфера, а также взаимодействия водной толщи с ложем руслового потока. Нагревание или охлаждение приземного слоя воздушной оболочки земли вызывает ответную реакцию в тепловом состоянии наземных водных объектов. Но, как показывает изучение режима максимальной месячной и среднедекадной температуры воды в реках Верхнего Дона, тепловое состояние атмосферы далеко не всегда оказывается ведущим фактором в динамике температуры воды.

### **Материалы и район исследований**

Исходная информация по максимальной месячной температуре воды и среднедекадной и максимальной месячной температуре воздуха заимствована из кадастровых обобщений и архивных материалов региональных Центров по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды городов Воронежа, Липецка, Тамбова, Тулы – филиалов Федерального государственного бюджетного учреждения «Центрально-Черноземное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды». Наблюдения охватывают период от открытия гидрологических постов на реках Верхнего Дона по 2017 год включительно, за исключением наблюдений на р. Черная Калитва – пгт Ольховатка (1952–1991 гг.) в связи с закрытием поста. Продолжительность рядов базовой информации составляет около 70 лет. Пункты наблюдений достаточно равномерно распределены по площади речного бассейна Верхнего Дона.

Район исследований включает Верхний Дон суммарной площадью 143500 км<sup>2</sup>, т.е. треть от всей площади речного бассейна Дона. Протяженность главной реки составляет почти половину всей длины от истока до устья. Орография бассейна неоднородна: правобережная часть Дона располагается на Среднерусской возвышенности, левобережная – на Окско-Донской низменной равнине и Калачской возвышенности. Река Хопер протекает по Керенско-Чембарской и Приволжской возвышенностям, а ниже по течению – в пределах Окско-Донской низменной равнины. Ее протяженность от истока до выхода за пределы Воронежской области составляет около 670 км, а площадь бассейна – около 35200 км<sup>2</sup>.

В бассейнах рек Верхнего Дона полностью или частично располагаются Тульская, Рязанская, Орловская, Курская, Липецкая, Воронежская, Тамбовская, Белгородская, Пензенская и Саратовская области.

В различных отраслях экономики названных регионов ресурсы речного стока Дона находят широкое и разнообразное использование. С позиций водопользования изменение термического режима рек вызывает огромный практический интерес. С повышением температуры воды активизируются внутренние водоемные процессы, ускоряется зарастание и эвтрофирование русел, снижается проточность и разбавляющая способность рек, замедляется самоочищение, меняется биота, изменяются условия нереста рыб, что в первую очередь отражается на ценных, промысловых видах.

Речную систему Верходонья образуют средние и малые по размерам и водности притоки, непосредственно впадающие в реку Дон: реки Красивая Мечка, Сосна (Быстрая Сосна), Девица (Красная Девица), Воронеж, Тихая Сосна, Битюг, Черная Калитва и Подгорная. В рассматриваемую часть речного бассейна входит река Хопер с притоками Ворона и Савала, наиболее значительными из водотоков в верхнем и среднем течении реки. На всех перечисленных реках имеются створы гидрологических измерений, которые используются в работе.

Граница Верхнего Дона не имеет согласованного выделения. Ее проводят на широте устья реки Воронеж (Давыдов, 1955) и Тихой Сосны (Сапелкин и др., 2015), гидростворов Задонск и Лиски (Болгов и др., 2005; Джамалов и др., 2017), ст. Казанская (Курдов, 1981; Лурье, Панов, 2017). При этом авторы в большинстве случаев ограничиваются констатацией факта, не указывая признаки выделения границы Верхнего Дона. В многочисленных работах природоведов различного профиля: ландшаftоведов, биологов, геологов, экологов – граница Верхнего Дона по умолчанию принимается по устью реки Воронеж.

В данном исследовании южный и восточный контур Верхнего Дона совпадает с границей Воронежской области на юге и востоке, что позволило включить в Верходонье часть речного

бассейна Хопра. Рассмотрение речной системы Хопра в составе Верхнего Дона исключительно важно при оценке территориальных водных ресурсов. При определении динамических водных ресурсов, в частности, Воронежской области, полностью располагающейся в бассейне Дона, необходимо учитывать все имеющиеся водотоки и запасы воды в них, в том числе и протекающей на востоке области реки Хопер с притоками. При этом зона формирования речного стока Воронежской области в 2.78 раз превосходит собственную площадь области.

Водопользование на любой административной территории опирается на все имеющиеся водные объекты. Вопросы экологии также решаются для всех территориальных вод региона. В связи с этим принятый авторами взгляд на проведение границы Верхнего Дона предполагается правомерным.

### Результаты и обсуждение

Современные климатические процессы характеризуются высоким динанизмом. Стремительный рост температуры воздуха в северном полушарии, аномалии температурного режима, неустойчивость и неравномерность увлажнения являются фоном для внутриконтинентальных различий элементов климата и образования экстремальных природных явлений. На региональном уровне общие планетарные климатические тенденции приобретают специфические черты (Глобальные ..., 2019).

Общей характерной чертой современного термического режима рек Верходонья является увеличение продолжительности периода положительных температур поверхностного слоя речной воды, а, следовательно, и средней годовой температуры воды за период, свободный от ледяных образований. Оно стало возможным, прежде всего, за счет удлинения интервала времени открытого русла, а также сокращения периода с временными ледяными явлениями и ледоставом. Несмотря на увеличение продолжительности половодья и более позднее формирование абсолютных максимумов стока снегового половодья, реки Верхнего Дона раньше освобождаются ото льда весной и позже замерзают осенью (Бучик, Дмитриева, 2016). Период положительных температур воды возрастает.

В многолетней динамике среднегодовой, среднемесячной и максимальной температуры воздуха на всей территории Верхнего Дона отмечается синхронное повышение их значений, что отражает естественные климатические процессы в северном полушарии. Особенно быстро растет среднегодовая температура воздуха в текущем столетии, превысившая среднюю годовую температуру последнего десятилетия предшествующего века, например, для Воронежской области на 0.9-1.3°C.

Общее потепление климата способствует тому, что вода в водных объектах в современный период быстрее и лучше прогревается, что характерно и для речных вод, и для вод водоемов. Но следует заметить, что гидрологический отклик температуры воды на рост температуры воздуха оказывается неоднозначным. Поскольку водные массы вовлечены во взаимодействие с приземной атмосферой и ложем русового потока одновременно, то в многолетней динамике максимальной температуры воды такого единства, как в ходе температуры воздуха, не наблюдается. В многолетних колебаниях максимальной температуры воды и воздуха фиксируются как синхронные, так и асинхронные изменения. К примеру, в р. Битюг – г. Бобров тенденции в температурах воды и воздуха совпадают, фиксируется их повышение (рис. 1 а), а в притоке малой реки Подгорная – г. Калач для максимальной температуры воды и среднедекадной температуры воздуха (и максимальной температуры воздуха) тенденции различаются по направлению (рис. 1 б).

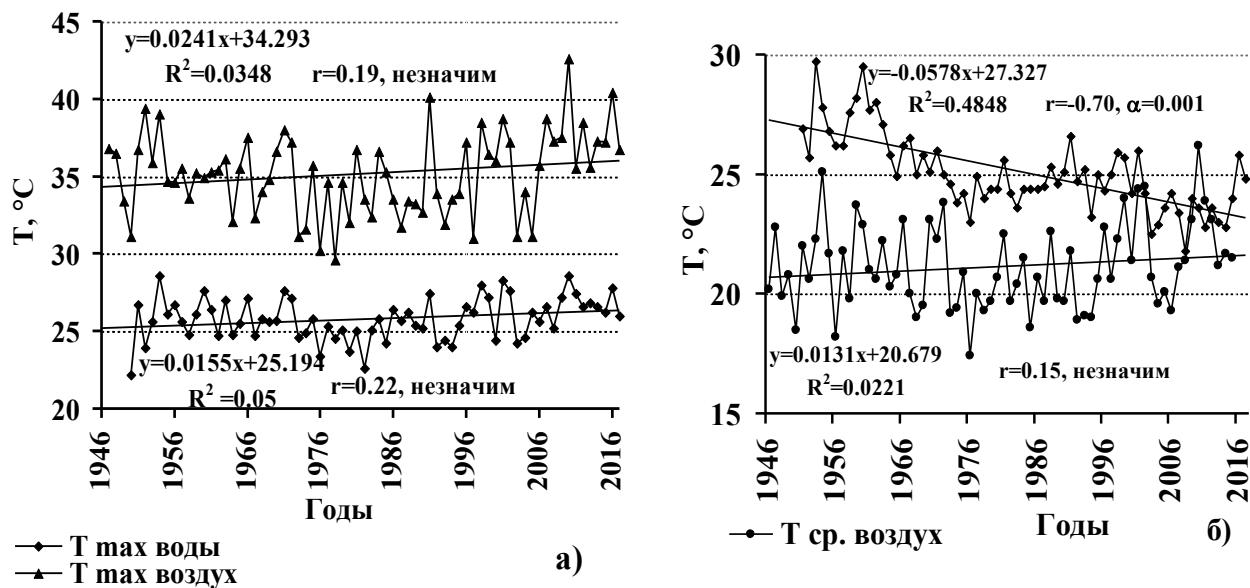
При положительной тенденции в температуре воды и воздуха корреляционные зависимости более тесные, чем при противоположной тенденции, например, при положительной корреляции (р. Дон-Гремячье,  $r=0.74$  и р. Битюг-Бобров,  $r=0.75$ ) – коэффициенты корреляции значимы, а при отрицательной корреляции (р. Девица-Девица,  $r=-0.09$  и р. Красивая Меча-Ефремов,  $r=-0.03$ ) – незначимы. Отмечаются более высокие коэффициенты корреляции максимальной температуры воды со среднедекадной температурой воздуха, чем максимальной температуры воды с максимальной температурой воздуха.

Наступление максимальных значений температуры воды отстает по дате от наступления максимальных значений температуры воздуха, поскольку на прогревание воды и достижение максимума температуры требуется некоторое время. По этой причине корреляционные зависимости более тесные между максимальной температурой воды и среднедекадной температурой воздуха. Например, для гидропоста р. Дон-с. Гремячье значимые коэффициенты корреляции максимальной температуры воды и максимальной температуры воздуха  $r=0.65$ , а максимальной температуры воды и

среднедекадной температуры воздуха  $r=0.74$ ; аналогично для р. Воронеж-с. Чертовицкое  $r=0.58$  и  $r=0.63$  соответственно.

Пространственный анализ корреляции предикторов (максимальной температуры воды, с одной стороны, и среднедекадной и (или) максимальной температуры воздуха, с другой) показывает, что в бассейне Верхнего Дона формируются 4 зоны характерных синхронных и асинхронных тенденций в температуре воды и воздуха.

1. В реке Дон на гидропостах Задонск, Гремячье и Павловск отмечается синхронное и согласованное увеличение температуры воды, соответствующее по направлению тенденции в температуре воздуха. Общей тенденции увеличения максимальной температуры воды не подчиняется ход температуры воды на гидростворе Лиски, где формируется слабо выраженный тренд снижения показателя ( $R^2=0.0193$ ;  $r=-0.14$ , незначим).



**Рис. 1.** Совмещенные графики колебаний максимальной температуры воды и воздуха р. Битюг в г. Бобров по метеостанции Лиски (а) и максимальной температуры воды и среднедекадной температуры воздуха р. Подгорная в с. Калач по метеостанции Калач (б) с их линейными трендами и формулами.

2. В правобережных притоках Дона – реках Красивая Мечка (р. Красивая Мечка-Ефремов,  $R^2=0.0495$ ,  $r=0.22$ ,  $\alpha=0.11$ ), Сосна (р. Сосна-Елец,  $R^2=0.0118$ ,  $r=0.11$ ,  $\alpha=0.12$ ), Девица (р. Девица-Девица,  $R^2=0.5943$ ,  $r=0.77$ ,  $\alpha=0.06$ ), Тихая Сосна (р. Тихая Сосна-Алексеевка,  $R^2=0.2048$ ,  $r=0.45$ ,  $\alpha=0.09$ ), Черная Калитва (р. Черная Калитва-Ольховатка,  $R^2=0.2299$ ,  $r=0.48$ ,  $\alpha=0.12$ ) – повсеместно имеет место снижение максимальной температуры воды, т.е. изменение прямо противоположное температуре воздуха. Все реки стекают в Дон со Среднерусской возвышенности (рис. 2).

3. В левобережных притоках Дона – реках Воронеж и Битюг – температура воды растет одновременно с ростом температуры воздуха (р. Воронеж-Чертовицкое  $R^2=0.2354$ ,  $r=0.49$ ,  $\alpha=0.11$ ; р. Битюг-Бобров  $R^2=0.0348$ ,  $r=0.19$ ,  $\alpha=0.12$ ). Все указанные реки стекают с Окско-Донской низменной равнины. Общей закономерности в изменениях температуры воды не подчиняется ход температуры р. Подгорная (р. Подгорная-Калач  $R^2=0.4848$ ,  $r=0.70$   $\alpha=0.24$ ), в которой, как и в правобережных притоках Дона, наблюдается отчетливо выраженное снижение температуры воды (рис. 3). Река стекает в Дон с Калачской возвышенности.

4. В реке Хопер (р. Хопер-Поворино,  $R^2=0.0125$ ,  $r=0.19$ , незначим; р. Хопер-Новохоперск,  $R^2=0.0005$ ,  $r=0.02$ , незначим) и ее притоках Ворона (р. Ворона-Борисоглебск,  $R^2=0.0027$ ,  $r=0.05$ , незначим) и Савала (р. Савала-Жердевка,  $R^2=0.0398$ ,  $r=0.20$ ,  $\alpha=0.12$ ) четкая тенденция в температуре воды не прослеживается, но динамика температуры воды в р. Хопер в целом согласуется с ходом

температуры воды в левобережных притоках Дона (Битюг, Воронеж и др.), лишь тренды выражены слабее.

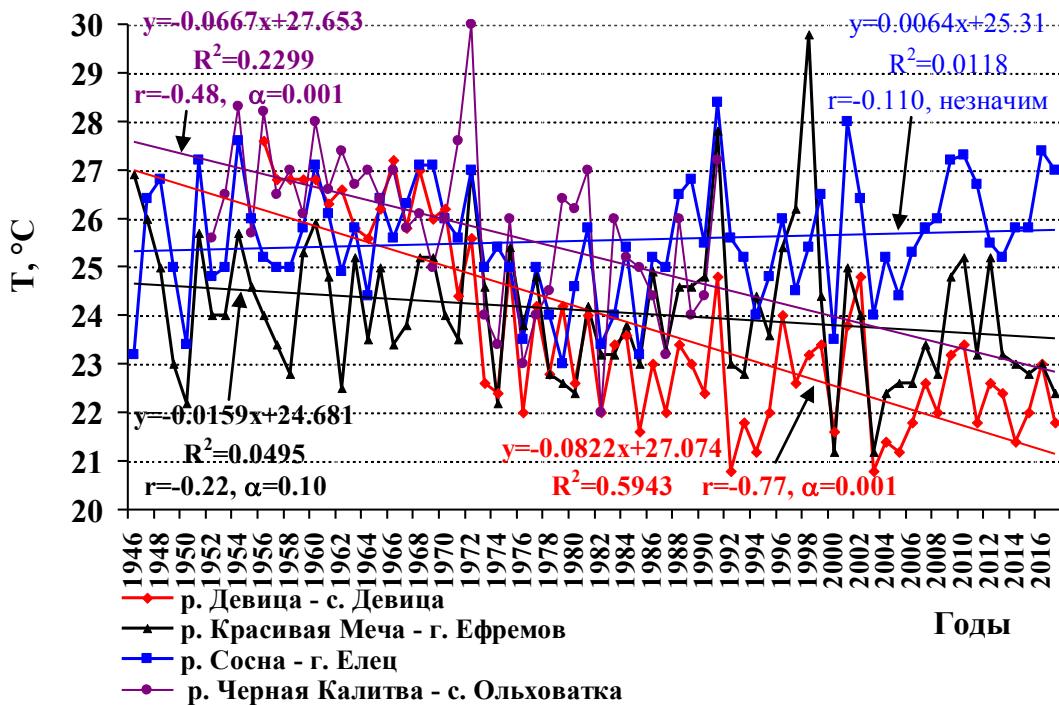


Рис. 2. Динамика максимальной температуры воды на гидрологических постах правобережных притоков р. Дон с их линейными трендами и формулами.

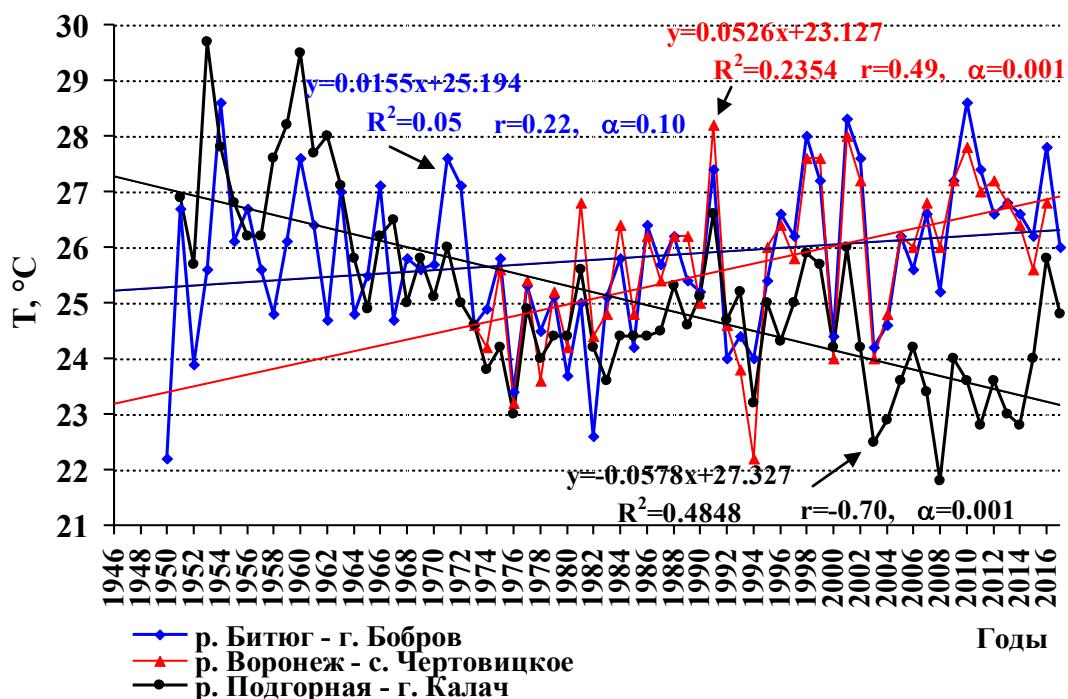


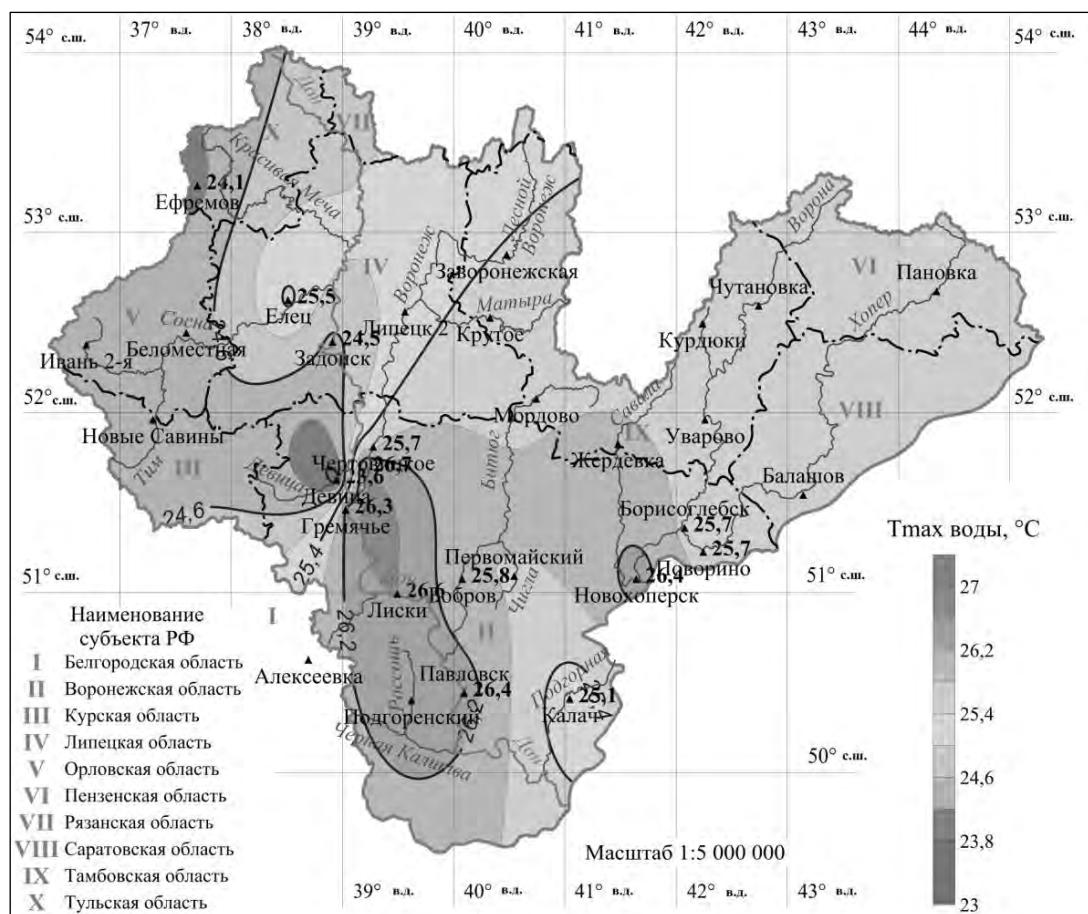
Рис. 3. Динамика максимальной температуры воды на гидрологических постах левобережных притоков р. Дон с их линейными трендами и формулами.

На нетипичную реакцию максимальной температуры воды при современном планетарном и региональном потеплении атмосферы указывает С.В. Будник (2019) на примере рек Западный Буг и Припять, предполагая в качестве основной причины изменения среднегодового речного стока.

На наш взгляд, неоднозначная реакция температуры поверхности слоя воды на последовательное нарастание среднегодовой и сезонной температуры воздуха объясняется внутригодовым перераспределением речного стока. Характерными чертами современного водного режима рек Верходонья является снижение объемов снегового половодья, увеличение стока летне-осенней и зимней межени. Наибольшее уменьшение объема стока весеннего половодья наблюдается на правобережных притоках Дона. В современном столетии доля поверхностного снегового питания в реках Красивая Мечка (г. Ефремов), Сосна (г. Елец), Девица (с. Девица), Тихая Сосна (г. Алексеевка), Россось (пгт. Подгоренский) снизилась до 40.0%, 41.3%, 39.8%, 31.2% и 39.6% соответственно (Дмитриева, 2015). Таким образом, снеговое питание рек позиционирует «преимущественное», каким оно было еще в конце прошлого столетия для большинства рассматриваемых рек, уступает смешанному с усилением подземного питания. Разгрузка более холодных подземных вод в период межени в больших объемах, чем ранее, снижает температуру воды в этих реках.

В левобережных притоках Воронеж (г. Липецк), Битюг (г. Бобров), а также реке Хопер (с. Поворино), Хопер (г. Новохоперск) и притоках Ворона (г. Борисоглебск), Ворона (с. Чутановка), Савала (с. Жердевка) доля поверхностного снегового питания превышает 50% и остается «преобладающей» (Дмитриева, 2015).

В пространственном распределении максимальной температуры воды прослеживается увеличение с запада на восток и юго-восток. Значения изотерм изменяются от 24.6 до 26.4°C, варьируя от 24.1 до 26.7°C (рис. 4).



**Рис. 4.** Пространственная изменчивость абсолютной максимальной температуры воды в бассейне Верхнего Дона за период мониторинга.

В этом направлении усиливается приток солнечной радиации, возрастает сухость климата. На юге Воронежской области в г. Богучар в 1938 г. и г. Лиски в 2010 г. были зафиксированы максимальные за период наблюдения температуры воздуха.

Данную схему пространственного распределения среднедекадной температуры воды следует считать предварительной, требующей уточнения за счет дополнительно привлечения материалов по рекам верховья Хопра.

### Выводы

Современный термический режим рек Верходонья сложен, малоизучен, характеризуется неоднозначной ответной реакцией на климатические вызовы. В правобережных притоках Дона, стекающих со Среднерусской возвышенности, максимальная температура воды имеет тенденцию к снижению. Параметр линии тренда варьирует в диапазоне от  $r=-0.22$  (р. Красивая Меча-Ефремов) до  $r=-0.77$  (р. Девица-Девица). В главном русле реки Дон, левобережных притоках Дона, впадающих с Окско-Донской низменной равнины, а также в реках бассейна Хопра, протекающих по равнинной территории, максимальная месячная температура воды повышается, хотя тенденции неустойчивы. От направленного изменения максимальной температуры воды левобережных притоков дистанцируется р. Подгорная-г. Калач со значимым трендом снижения ( $r=-0.70$ ). Она стекает в Дон с Калачской возвышенности.

Возможной причиной положительной и отрицательной динамики максимальной температуры воды является современное внутригодовое перераспределение стока, главная особенность которого состоит в сокращении поверхностного снегового питания и увеличении доли подземного питания в период летней межени. Приток более холодных подземных вод в меженный период снижает температуру воды. Этот процесс наиболее выражен там, где доля поверхностного снегового питания составляет меньше 50%, т.е. на правобережных притоках Дона. Очевидно, сопутствующую роль в снижении максимальной температуры воды играет орография местности.

Максимальная месячная температура воды в реках Верходонья наблюдается, как правило, в июле и за редким исключением – в августе и июне.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеевский Н.И., Базелюк А.А., Кузьмина Е.О. 2014. Термический режим рек на юге Европейской территории России // Известия РАН. Серия географическая. № 5. С. 56-66.
- Болгов М.В., Мишон В.М., Сенцова Н.И. 2005. Современные проблемы оценки водных ресурсов и водообеспечения. М.: Наука. 318 с.
- Будник С.В. 2019. Особенности изменения температуры воды рек бассейнов Западного Буга и Припяти // Труды VII Международной научно-практической конференции «Современные проблемы водохранилищ и их водосбросов». Пермь: Изд-во ПГНУ. Т. 1. С. 55-58.
- Бучик С.В., Дмитриева В.А. 2016. Генезис максимумов водности рек и изменчивость водного режима в современный климатический период // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. Екатеринбург. № 5. С. 50-62.
- Василенко А.Н. 2019. Современные представления о термическом режиме рек и его трансформациях в условиях изменяющегося климата // Материалы Международной научно-практической конференции «Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы». Воронеж: Цифровая полиграфия. Т. 1. С. 359-363.
- Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы. 2019. Материалы Международной научно-практической конференции «Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы». Воронеж: Цифровая полиграфия. Т. 1. 532 с.
- Давыдов Л.К. 1955. Гидрография СССР (воды суши). Ленинград: Изд-во Ленинградского университета. Ч. 2. 600 с.
- Джамалов Р.Г., Киреева М.Б., Косолапов А.Е., Фролова Н.Л. 2017. Водные ресурсы бассейна Дона и их экологическое состояние. М.: ГЕОС. 205 с.
- Дмитриева В.А. 2015. Водные ресурсы Воронежской области в условиях меняющихся климата и хозяйственной деятельности. Воронеж: Издательский дом ВГУ. 192 с.
- Курдов А.Г. 1981. Батюшка Дон // Воронежские дали / Ред. Ф.Н. Мильков. Воронеж: Изд-во Воронежского университета. С. 124-128.
- Лурье П.М., Панов В.Д. 2018. Река Дон: гидрография и режим стока. Ростов-на-Дону: Донской издательский дом. 592 с.

- Магрицкий Д.В. 2009. Тепловой сток рек в моря российской Арктики и его изменения // Вестник Московского Университета. Серия 5 «География». № 5. С. 69-77.
- Сапелкин Н.С., Смирнов С.В., Федотов В.И. 2015. Большой Дон: природа, культура, история, российско-украинское пограничье. Воронеж: Центрально-Черноземное книжное издательство. 400 с.
- Hannah D.M., Garner G. 2015. River water temperature in the United Kingdom: changes over the 20<sup>th</sup> century and possible changes over the 21<sup>st</sup> century. // Progress in Physical Geography. No. 39. P. 68-92.
- Webb B.W., Hannah D.M., Moore R.D., Brown L.E., Nobilis F. 2008. Recent advances in river and stream temperature // Hydrological Processes. Vol. 22. No. 7. P. 902-918.

ISSN 1993-3916

**ЖУРНАЛ АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ 2021. Т. 27. № 1 (86)**

Учредители: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Прикаспийский институт биологических ресурсов Дагестанского научного центра РАН (ПИБР ДНЦ РАН), Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных проблем РАН (ИВП РАН), Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии Дагестанского научного центра РАН (ИГ ДНЦ РАН).

Свидетельство о регистрации средства массовой информации в Роскомнадзоре (Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций) – ПИ № ФС77-56164 от 15 ноября 2013 г. Подписано в печать 30 января 2021 г.



ТОВАРИЩЕСТВО НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ КМК

Формат 60x 84 1/8

Объем 21 п.л.

Тираж 200 экз.

Заказ №

Тиражировано в типографии ИП Гаджиева С.С.  
367025, Махачкала, ул. Юсупова, 47  
RIZO-PRESS, Тел. 8(8722) 68-40-21

**Распространяется  
только по подписке**

**Индекс 39775 (каталог «Пресса России»)**