*ISSN 1993-3916*

**Том 25 Номер 4 (81) Декабрь 2019**

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

**2019**

© 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 “КИБЕРЛЕНИНКА” 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, ВИНИТИ, Google Scholar, AGRICOLA, EBSCO Discovery Service, OCLC, Summon by ProQues, 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/;**
**архив полнотекстовых статей по адресам: http://aridecosystems.ru/архивы/; 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 25, № 4 (81), 2019, декабрь**
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
**2019**

# СОДЕРЖАНИЕ

**Том 25, номер 4 (81), 2019 декабрь**

## СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Характеристики изменчивости водопотребления лесных и луговых экосистем аридного региона Центрального и Южного Нинся
*Ц. Ли* 3-15

Основные тенденции в динамике пойменных экосистем и ландшафтов низовьев Сырдарьи в современных изменяющихся условиях
*Ж.В. Кузьмина, С.С. Шинкаренко, Д.А. Солодовников* 16-29

Пространственная организация растительности и ландшафтов пояса субсредиземноморских лесов и редколесий полуострова Абрау (Северо-западный Кавказ)
*М.В. Бочарников, М.Н. Петрушина, Е.Г. Суслова* 30-41

Состояние фиторазнообразия пирогенных формаций Усманского бора (Воронежская область)
*А.Я. Григорьевская, Т.А. Девятова, Ю.С. Горбунова, Н.А. Сорокина* 42-51

Изменение ботанического разнообразия разнотравно-дерновиннозлаковых степей Восточной Монголии за одиннадцатилетний период (2008-2018 гг.)
*Г.Н. Огуреева, Л. Жаргалсайхан, Т.Ю. Каримова, И.М. Микляева* 52-60

## ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

Оценка природно-обусловленных опасностей в природном резервате «Иле-Балхаш» (Казахстан)
*Е.Г. Королева, Т.В. Дикарева, В.А. Дикарев* 61-70

Оценка экологического состояния и потерь продуктивности аридных пастбищных экосистем Сарпинской низменности
*М.В. Власенко, А.К. Кулик, А.Н. Салугин* 71-81

Особенности состава гумусовых горизонтов аридных почв Баргузинской котловины
*В.И. Убугунова, П.Д. Гунин, В.Л. Убугунов, Е.Н. Алескерова, С.Н. Бажа, Т.А. Аюшина* 82-91

Сокращение численности кровососущих мошек в Волгограде во время Чемпионата мира по футболу 2018 года, как специальная задача комплексного использования водных ресурсов каскада водохранилищ
*С.Е. Беднарук, Н.А. Дильман, А.В. Мастрюкова, В.В. Чуканов* 92-99

*АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2019, том 25, № 4 (81), с. 3-15*

**СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

*УДК* 551.573

# ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗМЕНЧИВОСТИ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ ЛЕСНЫХ И ЛУГОВЫХ ЭКОСИСТЕМ АРИДНОГО РЕГИОНА ЦЕНТРАЛЬНОГО И ЮЖНОГО НИНСЯ[1]

**© 2019 г. Ц. Ли*, ****

*****Школа гражданского и гидротехнического строительства Университета Нинся*
*Китай, 750021, Иньчуань, Нинся, ул. Вэньцуй Н., Сисиа Цюй, Иньчуань Ши*

******Центр технических исследований эффективного использования водных ресурсов в современной агрикультуре аридных регионов*
*Китай, 750021, Иньчуань, Нинся. E-mail: lijinyan001@163.com*

Поступила в редакцию 20.09.2018. После доработки 12.12.2019. Принята к публикации 07.05.2019.

Состояние и развитие растительного покрова является важным критерием при улучшении экологической среды аридных регионов, поэтому изучение экологического водопотребления растительности стало злободневной проблемой в области экологии и гидрологии. В данном исследовании затронуто 8 округов в центральной и южной частях провинции Нинся, которые расположены с севера на юг в аридном регионе на северо-западе Китая. Цель работы – оценить потенциальное испарение и экологическое водопотребление местной растительности на основе метеорологических данных, данных о распространении растительности, данных о состоянии водных ресурсов и т.д. Данная работа может помочь нам понять и усвоить закономерности пространственно-временного распределения экологического водопотребления и обеспечить основу для планирования и культивации лесо-луговой растительности региона. Во-первых, для расчета экологического водопотребления были использованы модели Торнтвэйта и Пенмана-Монтейта. Сравнение результатов расчетов показало, что данные, полученные по модели Пенмана-Монтейта, более приемлемые, поскольку в модели используются ряд метеорологических величин и факторы географического положения. Вместе с тем при расчете экологического водопотребления были использованы формула Дженсена и региональная кривая почвенных характеристик для определения поправочного коэффициента влажности почвы. Во-вторых, месяц за месяцем оценивалось потенциальное испарение и экологическое водопотребление местной растительности при использовании осадков. На этой основе были проанализированы пространственная и временная изменчивость значений потенциального. Результаты показали, что потенциальное испарение имеет тенденцию увеличения от месяца к месяцу с января по июль, и снижения с августа по декабрь. Что касается пространственного распределения, потенциальное испарение постепенно увеличивается с юга на север. Была проанализирована пространственная изменчивость баланса между осадками и экологическим водопотреблением растительности; результаты показали, что экологические запасы воды в центральном регионе более существенны, чем в южном, самые большие запасы воды отмечены в Яньчи – самом северном округе центрального аридного региона. И, напротив, экологическое водопотребление в лесах было избыточным на протяжении всего вегетационного периода в самом южном округе Цзинъюань. Кроме того обсуждается пространственная и временная изменчивость соотношения между зависимым от осадков экологическим водопотреблением и водными ресурсами. Результаты показали, что еще есть достаточно места для регионального распространения растительности в Яньчи, Тунсинь и Хайюань в центральном аридном регионе и относительно сухих округах, таких как Юаньчжоу, Сицзи и Пэнъян в южной горной местности, и больше площадей для увеличения растительного покрова отмечается в округах Лундэ и Цзинъюань, расположенных на юге горной местности где относительно много осадков.

[1] Работа выполнена при финансовой поддержке Национального научного фонда Китая (National Natural Science Foundation of China, 51569024) и Крупных инновационных проектов для строительства университетов первого класса (Major Innovation Projects for Building First-class University) в западном регионе Китая (ZKZD2017002).

*Ключевые слова:* экологическое водопотребление, водные ресурсы, осадки, леса, луга, центральный и южный Нинся.
**DOI: 10.24411/1993-3916-2019-10069**

Аридный регион западного Китая, где экология весьма уязвима, является ключевой точкой для экологического проектирования. Зависимость между формированием водных ресурсов и экологическим проектированием напрямую влияет на устойчивое развитие местной социальной экономики. К тому же система водных ресурсов – это крупномасштабная комплексная система, которая взаимодействует с экологической средой, экономикой и обществом. Экологическое водопотребление должно рассматриваться в контексте устойчивого развития и использования водных ресурсов, чтобы развитие и использование водных ресурсов не только удовлетворяло водопотребление в экономическом и социальном развитии, но также гарантировало безопасность и безопасное развитие всей системы экологической среды. Поэтому исследование экологического водопотребления, особенно в аридном регионе западного Китая, необходимы как для защиты окружающей среды, которая еще не подверглась разрушению, так и для разработки экологических и природоохранных мер по восстановлению водосборных бассейнов. Определение экологического водопотребления всегда было ключевой основой для принятия ряда важных решений, касающихся водных ресурсов Китая. Рациональное развитие лесов и лугов стало важной мерой для администрирования экологической среды аридных регионов. Таким образом, исследование экологического водопотребления растительности привлекает все больше и больше внимания (Shen, 2001; Yang et al., 2003; Deng, 2009).

Физико-географическая среда автономного округа Нинся, расположенного в аридном регионе на северо-западе Китая, имеет ярко выраженную зональность, поэтому округ можно разделить на 3 географических единицы по количеству осадков и региональным геоморфологическим параметрам: орошаемый северный район реки Хуанхэ, где среднегодовое количество осадков менее 200 мм; центральный аридный район, где среднегодовое количество осадков составляет 200-350 мм; и южный горный район, где среднегодовое количество осадков более 350 мм. Центральный и южный районы – это область самого серьезного дефицита воды в Нинся. Долговременный дефицит воды – препятствие для экономического и социального развития региона, и сфера его влияния постоянно распространяется от традиционного сельского хозяйства до экологии и окружающей среды, в результате чего возникает нехватка питьевой воды для городских и сельских жителей по всему региону, происходит исчезновение оазисов, рек, опустынивание земель и возникают другие проблемы. Учитывая это, данная работа посвящена изучению экологического водопотребления растительности лесов и лугов в аридном регионе центрального и южного Нинся, который включает в себя округи Яньчи, Тунсинь, Хайюань, Юаньчжоу, Сицзи, Пэнъян, Лундэ и Цзинъюань, простирающиеся с севера на юг. Работа основана на данных о распространении растительности лесов и лугов, на метеорологических данных и информации о состоянии водных ресурсов и направлена на то, чтобы лучше понять и осознать характеристики пространственного и временного распределения экологического водопотребления в надежде на то, что удастся создать основу для планирования и создания лесных и луговых экосистем в регионе.

## Методы исследований

*Классификация растительности лесов и лугов и их экологическое водопотребление.* На карте распределения землепользования лесные угодья разделены на четыре категории: лес, редкий лес, кустарник и облесенные земли. Под лесом подразумеваются естественные леса и лесопосадки с плотностью покрытия больше 30%. Редкий лес – это лес с плотностью покрытия от 10% до 30%. Кустарники – это подлесок и кустарник с плотностью покрытия более 30% и высотой менее 2 метров. Луга поделены на следующие категории: естественные луга, многолетние и однолетние искусственно созданные луга. Учитывая, что в структуре и во внешнем виде сообществ наблюдаются большие различия между категориями лесов и лугов, из-за чего в водопотреблении этих экосистем неизбежно возникают различия на микро- и макро- уровне, необходимо сначала провести классификацию, и только потом оценивать и анализировать их экологическое водопотребление (Yang et al., 2003; Deng, 2009; Gao, 2008). В данной работе лесные и луговые экосистемы, а также их категории были

получены из “Statistics of Areas and Structures of Forestlands and Grasslands in Counties of Ningxia Hui Autonomous Region” (Statistics of Areas …, 2014). Кроме того, для проведения анализа баланса экологического водопотребления в целях распределения и планирования региональных водных ресурсов, экологическое водопотребление было разделено по источнику его формирования – осадки или сток. Естественная растительность для удовлетворения своих экологических потребностей в воде зависит в основном от осадков, то есть имеет место атмосферное питание экологического водопотребления. Кроме того, за счет атмосферного питания удовлетворяется потребность в воде некоторых лесных угодий, включая лес, редколесье, кустарник и другие лесные угодья (нетронутые земли и облесенные земли), а также некоторые луга, в том числе естественные луга и многолетние искусственно созданные луга. Экологическое водопотребление, в основе которого лежит сток, напрямую связано с распределением и регулированием водных ресурсов. Эти водные ресурсы могут рассматриваться в качестве переменных или ограничивающих условий в моделях распределения водных ресурсов. На основе использования стока формируется экологическое водопотребление питомников леса и однолетних искусственно созданных лугов.

В этой работе исследуется пространственно-временная изменчивость экологического водопотребления лесной и луговой растительности и водный баланс между экологическим водопотреблением, осадками и региональными водными ресурсами. Учитывая, что данные по экологическому водопотреблению естественной растительности могут быть использованы в качестве основы для экологического строительства, распределения растительного покрова, управления водными ресурсами, в основном изучалась изменчивость осадков и экологического водопотребления лесной и луговой растительности(Shen, 2001; Yang et al., 2003; Deng, 2009; Gao, 2008).

*Определение и оценка экологического водопотребления лесной и луговой растительности.* Многочисленные исследования показали, что определение суммарного испарения растительности является ключом к изучению экологического водопотребления. Определение суммарного испарения чрезвычайно сложно, поскольку оно зависит от многих факторов, таких как физиология растений, биометрические параметры и климатические характеристики. Существует три разновидности выражения испарения, а именно потенциальное испарение, максимальное суммарное испарение и фактическое суммарное испарение. Потенциальное испарение это максимально возможное испарение растительности при оптимальной влажности почвы и зависит только от региональных метеорологических факторов. Максимальное суммарное испарение это испарение растительности при оптимальной влажности почвы, которая (растительность) в полной мере использовала свой потенциал роста. Величина максимального суммарного испарения зависит как от состояния растений так и от метеорологических факторов. Фактическое суммарное испарение – это испарение растительности, растущей в условиях фактической влажности почвы; величина фактического суммарного испарения определяется состоянием растений, метеорологическими условиями и влажностью почвы (Gao, 2008). Из анализа приведенной выше информации следует, что суммарное испарение в засушливых или полузасушливых регионах, где почва, как правило, испытывает недостаток воды из-за ограниченного количества осадков, является фактическим суммарным испарением и при выполнении дальнейших исследований может рассматриваться как экологическая квота водопотребления растительности.

*Оценка потенциального испарения.* В настоящее время методы для расчета потенциального испарения в основном включают в себя методы Торнтвэйта и Пенмана-Монтейта. Эти два метода широко используются при расчете потенциального испарения на лесных территориях аридных регионов. Тем не менее, исследований по сравнению результатов двух методов для выяснения их пригодности для использования в разных регионах мало. В настоящей работе для выбора наиболее приемлемого метода расчета потенциальное испарение в регионе было рассчитано с использованием как метода Торнтвэйта так и метода Пенмана-Монтейта. Из соображений простоты сравнительный анализ результатов оценки потенциального испарения выполнен для четырех округов: Юаньчжоу, Сицзи, Пэнъян и Хайюань.

*Модель Торнтвэйта.* Метод Торнтвэйта был разработан для расчета потенциального испарения в засушливых регионах центральной части Соединенных Штатов. Этот метод прост для использования и требует только многолетних данных о средней температуре воздуха в исследуемом регионе. Данный метод был использован при расчете потенциального испарения, а также экологического

водопотребления леса во многих аридных и семиаридных регионах Китая. Модель записывается в виде (Deng, 2009; Gao, 2008):

$$ET_0 = k16.2(10T/H)^A, \quad (1)$$

$$H = \sum_{n=1}^{12} h, \quad h = (\frac{T}{5.0})^{1.514}, \quad A = 6.75\times10^{-7}H^3 - 7.71\times10^{-5}H^2 + 1.79\times10^{-2}H + 0.49, \quad (2)$$

где $ET_0$ – потенциальное испарение в регионе за месяц, мм; $H$ — тепловой индекс за год; $h$ – тепловой индекс за месяц (при $T \leq 0$°C, $h$=0); $T$ – средняя месячная температура воздуха, A – нелинейная функция годового индекса тепла; $k$ – поправочный коэффициент, определяемый по специальной таблице в зависимости от широты.

Оценка потенциального испарения в исследуемом регионе по методу Торнтвэйта была выполнена на основе данных о температуре воздуха. Как показывает анализ, температура почвы в январе, феврале и декабре во всех округах исследуемой территории опускается ниже 0 С, почва промерзает, и жизненная активность деревьев прекращается. В этот время транспирация отсутствует, поэтому расчеты экологического водопотребления лесных экосистем в данном исследовании выполнены за период с марта по ноябрь.

*Модель Пенмана-Монтейта.* Потенциальное испарение, оцененное с использованием модели Пенмана-Монтейта (Hu et al., 2005), в основном показывает влияние климата на водопотребление растительности. В соответствии с пересмотром требований к воде для эталонных культур в 1992 году, такие организации, как Организация по продовольствию и сельскому хозяйству ООН (FAO) и Международная комиссия по ирригации и дренажу (ICID), рекомендуют метод Пенмана-Монтейта для расчета водопотребления эталонных культур. Модель выражается как:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma\frac{900}{T+273}u_2 VPD}{\Delta + \gamma(1+0.34u_2)}, \quad (3)$$

где $ET_0$ – потенциальное испарение, мм/сут; $\Delta$ – производная насыщающей упругости водяного пара от температуры воздуха, кПа/°C; $R_n$ – радиационный баланс, мДж/м$^2$ в сутки; $G$ – теплообмен в почву, мДж/м$^2$ в сутки; γ – психрометрическая константа, кПа/°C; $T$ – средняя суточная температура воздуха, °C; $u_2$ – средняя суточная скорость ветра на высоте 2 м, м/сек; $VPD$ – дефицит влажности воздуха на высоте 2 метра, кПа; $VPD=e_a-e_d$, где $e_a$ и $e_d$ – насыщающая и фактическая упругость водяного пара соответственно, кПа.

При расчете потенциального испарение по модели Пенмана-Монтейта была с использована «Система управления информацией для оценки и анализа коэффициентов эффективности использования воды для местного орошения» (Information Management System for Estimation and Analysis of Effective Utilization Coefficients of Provincial Irrigation Water), разработанная Институтом исследований водных ресурсов и гидроэнергетики Китая. Эта система управления, разработанная на базе модели Пенмана-Монтейта, может использоваться для расчета декадного, месячного или годового потенциального испарения в регионе $ET_0$ на основе информации о географическом положении региона или водосборного бассейна (долгота, широта и высота), среднегодовых осадках, суточной минимальной и максимальной температуре воздуха, продолжительности солнечного сияния, среднесуточной относительной влажности воздуха, скорости ветра на высоте 2 м, суточных осадках и других гидрологических и метеорологических данных. При рассмотрении потенциального испарения, рассчитанного по моделям Торнтвэйта и Пенмана-Монтейта, во внимание принимались данные за период с марта по ноябрь.

*Сравнение и анализ потенциального испарения.* Как видно из рисунка 1, тенденция изменений значений потенциального испарения, рассчитанных двумя упомянутыми методами, в основном одинакова, за исключением округа Пэнъян; последовательность от малого к большему следующая: Сицзи, Юаньчжоу, Хайюань. Это указывает на то, что обе группы результатов имеют некоторую обоснованность. Тем не менее, эти группы величин заметно различаются. Значения, полученные с использованием метода Пенмана-Монтейта, намного больше, чем значения, полученные с использованием метода Торнтвэйта. На рисунке 1 также видно, что данные, полученные с использованием метода Торнтвэйта, не обнаруживают существенных различий между округами, в то время как результаты, полученные с использованием метода Пенмана-Монтейта, указывают на

ощутимые различия. Основная причина заключается в том, что модель Пенмана-Монтейта учитывает множество метеорологических факторов и факторов географического положения, в то время как метод Торнтвэйта учитывает только влияние температуры и поэтому не позволяет выявить очевидные пространственные и временные различия. Между тем, и результаты, полученные Q. Min и Y. Geng (2005) из Шаньдунского педагогического университета при исследовании экологического водопотребления растительности в бассейне реки Цзинхэ, ближе к результатам, полученным при использованием метода Пенмана-Монтейта. Следовательно, данные, полученные по методу Пенмана-Монтейта, более достоверны и надежны, поэтому и были использованы в настоящем исследовании.

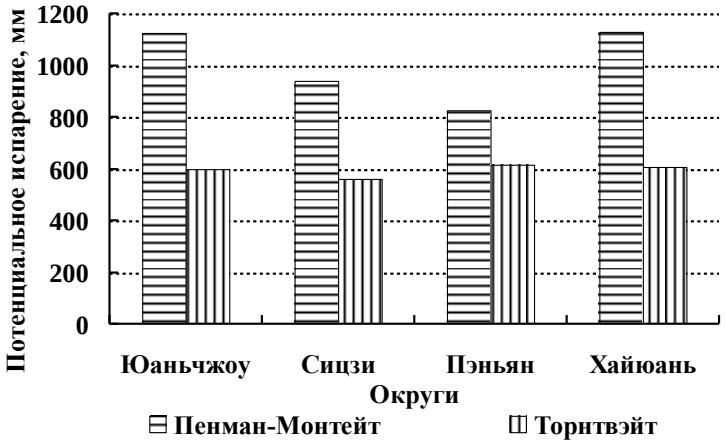



**Рис. 1.** Потенциальное испарение, полученное по моделям Пенмана-Монтейта и Торнтвэйта.

*Оценка экологического водопотребления растительности.* Расчет фактического суммарного испарения для различных видов лесной и луговой растительности (экологическое водопотребление) выполнен на основе оценки потенциального испарения лесных и луговых экосистем ($ET_0$) по зависимости:

$$ET_{Ci}=ET_0K_cK_s \quad (4),$$

где $ET_{Ci}$ – фактическое экологическое водопотребление растительности (i), мм; $ET_0$ – потенциальное испарение, мм; $K_c$ – коэффициент водопотребления растительности (i); $K_s$ – поправочный коэффициент на влажность почвы в изучаемом регионе. Из приведенного уравнения видно, что при определении фактического водопотребления на основе оценки потенциального испарения ключевыми факторами являются определение коэффициента водопотребления и поправочного коэффициента на влажность почвы (Jia, Ci, 2000).

*Определение коэффициента водопотребления растительности.* B. Chu и S. Shang (2009) из Государственной лаборатории гидротехники и проектирования Университета Цинхуа было проведено экспериментальное изучение экологического водопотребления лесной и луговой растительности в аридных и семиаридных регионах. Результаты показали, что коэффициент экологического водопотребления леса равен 0.757, кустарников – 0.612, лугов – 0.661; коэффициент водопотребления кустарников и лугов составляет 0.81 и 0.85 от коэффициента водопотребления леса соответственно. He Y. с соавторами (2004) изучали коэффициенты водопотребления лесной растительности на Лёссовом плато на примере робинии *Robinia pseudoacacia* и сосны *Pinus tabulaeformis,* типичных для плато видах лесной растительности. Они определили, что коэффициент водопотребления леса равен 0.765, и на основе многолетних сравнительных экспериментов полагают, что коэффициент водопотребления кустарников составляет примерно 0.8 от коэффициента водопотребления леса. Результаты вышеупомянутых исследований показывают, что коэффициенты водопотребления растительности в аридных и семиаридных регионах близки. В настоящем исследовании коэффициент водопотребления леса принят равным 0.765; коэффициент водопотребления кустарников – 0.612, лугов – 0.650, что составляет 0.80 и 0.85 от коэффициента водопотребления леса.

*Определение поправочного коэффициента на влажность почвы.* Поправочный коэффициент на влажность почвы является функцией влияния влажности почвы на фактическое испарение лесных угодий с различными типами почв в условиях недостаточного увлажнения почвы. Значение этого

коэффициента зависит от гидрофизических свойств почвы и ее влажности и определяется по формуле Дженсена (Chu, Shang, 2009):

$$K_s = \ln[(\frac{W - W_f}{W_C - W_f} \times 100) + 1] / \ln 101, \quad (5)$$

где $W$ – фактическая влажность почвы; $W_f$ – влажность устойчивого завядания; $W_c$ – критическая влажность почвы.

Согласно уравнению (5) поправочный коэффициент влажности почвы $K_s$ может быть определен по фактической влажности почвы на каждой стадии развития растений с учетом гидрофизических свойств почвы. Затем этот коэффициент вместе с коэффициентом водопотребления и потенциальным испарением можно использовать для расчета экологического водопотребления растений по зависимости (4).

В холмистой местности Лессового плато связь между влажностью почвы и развитием деревьев является одним из главных вопросов в области экологии, и в этой области было получено много данных. M. Wang и H. Li (1995) изучали водный потенциал почвы и развитие деревьев *Robinia pseudoacacia* на Лёссовом плато в западном Шаньси, и результаты показали: влажность почвы при значении водного потенциала почвы -15×10$^5$ Па является влажностью устойчивого завядания ($W_f$) растительности; когда значение водного потенциала почвы равно -0.3×10$^5$ Па, то в этом случае можно говорить о ключевой точке в динамике влажности почвы лесных экосистем. Таким образом, влажность почвы при значении водного потенциала -0.3×10$^5$ Па обычно рассматривается как критическая влажность почвы ($W_c$) для растительности Лессового плато. Кроме того, исследования показали, что при уровне водного потенциала ниже -10×10$^5$ Па отмечается влажность временного завядания растительности в холмистой местности Лессового плато. Следовательно, при значении водного потенциала, равном в исследуемом регионе-10×10$^5$ Па, влажность почвы является влажностью временного завядания ($W_t$), что соответствует принятому значению поправочного коэффициента на влажность почвы. Другие исследования показали, что влажность почвы при водном потенциале равном -1×10$^5$ Па является минимальной влажностью почвы для обеспечения нормального роста растительности в холмистой области Лёссовом плато и называется влажностью замедления развития растительного покрова ($Wr$), соответствующей минимальному значению поправочного коэффициента на влажность почвы. Основываясь на приведенных выше результатах, в настоящей работе для иллюстрации расчета поправочного коэффициента на влажность почвы в качестве примера (рис. 2) показана типичная кривая измеренной влажности почвы в округе Яньчи.

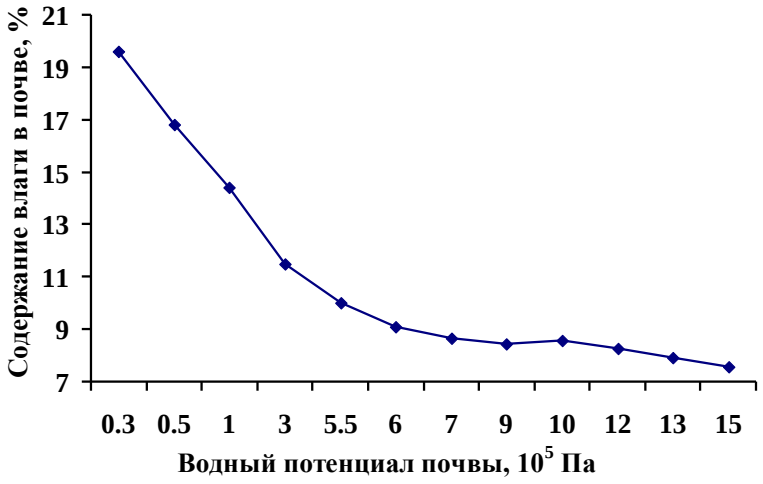



**Рис. 2.** Зависимость между содержанием влаги в почве и ее водным потенциалом в холмистой местности Лессового плато.

По графику (рис. 2) были получены характеристики влажности почвы при различных значениях водного потенциала в округе Яньчи (табл. 1); после чего по зависимости (5) были рассчитаны поправочные коэффициенты на влажность почвы (табл. 2).

Аналогичным образом были определены поправочные коэффициенты на влажность почвы для других округов.

**Таблица 1.** Влажность и водный потенциал почвы в холмистой местности Лессового плато.

| **Гидрофизические характеристики почвы** | $W_f$ | $W_t$ | $W_r$ | $W_c$ |
|---|---|---|---|---|
| Влажность почвы, % | 7.58 | 8.56 | 14.4 | 18.16 |
| Водный потенциал почвы, $10^5$ Па | -15 | -10 | -1.0 | -0.3 |

**Примечание к таблице 1.** Wf – влажность устойчивого завядания, Wt – влажность временного завядания, Wr – влажность замедления развития растительного покрова, Wc – критическая влажность почвы.

**Таблица 2.** Поправочные коэффициенты на влажность почвы при влажности временного завядания $K_{st}$ и влажности замедленного развития растительного покрова $K_{sr}$ в холмистой местности Лессового плато.

| $K_{st}$ | $K_{sr}$ |
|---|---|
| 0.48 | 0.87 |

После определения поправочных коэффициентов с помощью формулы (4) можно рассчитать достаточное и минимальное экологическое водопотребление различных типов лесной и луговой растительности. Соответствующее экологическое водопотребление в единицах объема рассчитывается по формуле:

$$E_i=ET_{Ci}A_i, \quad (6)$$

где $E_i$ – водопотребление данного типа растительности ($i$) за расчетный период, $10^4$ м$^3$; $ET_{Ci}$ – фактическое водопотребление данного типа растительности ($i$) за расчетный период, мм; $A_i$ – площадь произрастания, км$^2$.

## Результаты и обсуждение

*Характеристика временной и пространственной изменчивости потенциального испарения.* Как видно из рисунка 3, внутригодовое распределение потенциального испарения по 8 округам находится в соответствии друг с другом. Потенциальное испарение увеличивалось из месяца в месяц с января по июль и снижалось с августа по декабрь. Его значение достигло максимума в июне-июле, когда было выше 100 мм/месяц, а минимум наблюдался в декабре-январе. В январе и феврале значение $ET_0$ медленно росло, а в марте и апреле его рост стал сравнительно быстрым и соответствовал быстрому росту температуры воздуха, что привело к росту испарения весной в Нинся. С мая по июль значение $ET_0$ было сравнительно высоким и составляло более 40% от общего годового значения. Это главным образом вызвано меньшим количеством осадков и большей продолжительностью и интенсивностью солнечного сияния в аридном регионе центрального и южного Нинся за вышеупомянутые месяцы. В сентябре значения $ET_0$ были значительно ниже, чем в июне-июле, а также ниже, чем в апреле, что соответствовало низким температурам воздуха, которые отмечаются в Нинся осенью, и тому, что осенние температуры воздуха ниже весенних. В пространственном распределении потенциального испарения прослеживается географическая зональность: значения $ET_0$ постепенно уменьшаются с севера на юг по округам Тунсинь, Хайюань, Юаньчжоу, Яньчи, Сицзи, Пэнъян, Цзинъюань и Лундэ.

*Характеристика изменений баланса между водопотреблением и осадками.* Экологическое водопотребление растительности лесов и лугов может быть удовлетворено за счет атмосферных осадков. Однако из-за временной и пространственной неоднородности в выпадении осадков экологическое водопотребление некоторых видов растительности не будет обеспечено, что в определенной степени ограничит ее развитие. Часть экологического водопотребления, которое не может быть удовлетворено, называется дефицитом экологического водопотребления. В некоторые месяцы естественные осадки могут быть больше, чем экологическое водопотребление растительности, это называется избытком экологического водопотребления. В зависимости от ситуации с экологическим водопотреблением в аридных регионах при обсуждении проблем недостатка или избытка воды необходимы два параметра, а именно: минимальное водопотребление и достаточное водопотребление. Формула для расчета имеет вид:

$$H_i=A_i(E_{ci}-R_i), \quad (7)$$

где $H_i$ – дефицит или избыток экологического водопотребления данной растительности (i), $10^4$ м$^3$; $A_i$ – площадь произрастания, км$^2$; $E_{ci}$ – минимальное водопотребление данной растительности (i) в вегетационный период, мм; $R_i$ – количество осадков, необходимое растительности (i) в вегетационный период, мм.

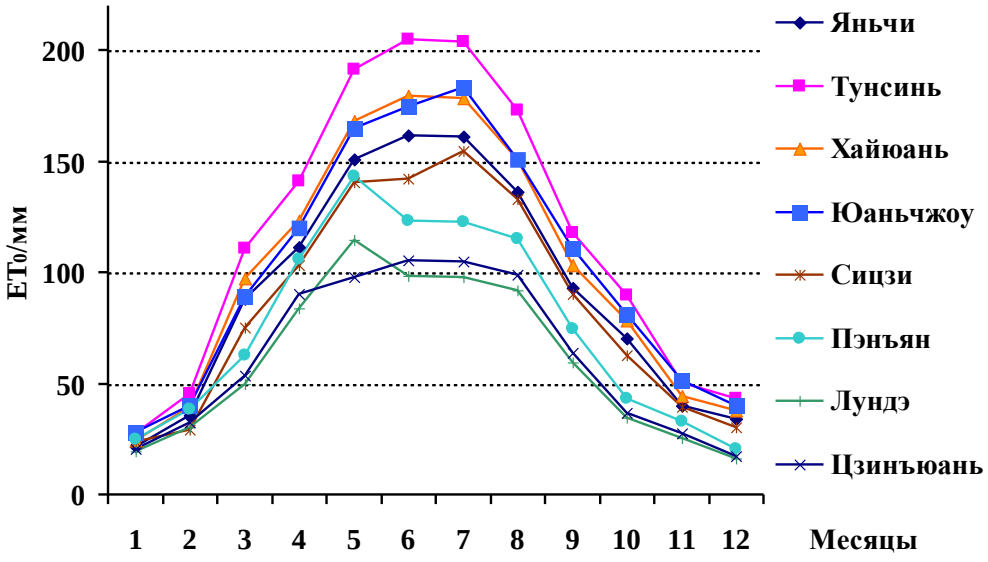



**Рис. 3.** Временная и пространственная изменчивость потенциального испарения.

*Анализ баланса между экологическим водопотреблением, обеспечиваемым естественными осадками, и ресурсами осадков.* В соответствии с фактическим экологическим водопотреблением и его распределением в исследуемом районе, были рассмотрены две ситуации для обсуждения проблемы нехватки воды, а именно: различия между минимальным экологическим водопотреблением и ресурсами осадков и между достаточным экологическим водопотреблением и ресурсами осадков. На рисунке 4 показан баланс между ресурсами осадков и экологическим водопотреблением в лесных экосистемах, обеспечиваемых естественными осадками. Из рисунка следуют три положения. 1) Минимальное и достаточное экологическое водопотребление для всех типов лесных территорий в округе Цзинъюань и округе Лундэ, расположенных в южных горных районах со среднегодовым количеством осадков 350-550 мм, может быть удовлетворено за счет естественных осадков. Избыток минимального экологического водопотребления в двух округах составил $5.83\times10^7$ м$^3$ и $8.25\times10^7$ м$^3$ соответственно; избыток достаточного экологического водопотребления составил $132.12\times10^4$ м$^3$ и $51.53\times10^4$ м$^3$ соответственно. Лесная растительность в этом регионе была в хорошем состоянии. 2) Минимальное экологическое водопотребление для всех типов лесных угодий в округе Пэнъян и районе Юаньчжоу, расположенных в южных горных районах со среднегодовым количеством осадков около 350 мм, может быть удовлетворено за счет естественных осадков, в то время как достаточное экологическое водопотребление не может быть реализовано в обоих местах. Дефицит осадков, удовлетворяющих достаточное экологическое водопотребление в данном случае составляет $1.01\times10^8$ м$^3$ и $4.21\times10^7$ м$^3$ соответственно. 3) Минимальное и достаточное экологическое водопотребление для всех типов лесных экосистем в Хайюань, Тунсинь и Яньчи, расположенных в центральном аридном регионе, и в Сицзи, расположенном в южном горном районе, не может быть обеспечено естественными осадками при их среднегодовом количестве 175-280 мм.

На рисунке 5 показан баланс между экологическим водопотреблением луговых экосистем, обеспечиваемый естественными осадками, и ресурсами осадков. При сравнении рисунков 4 и 5 можно заметить, что водный баланс луговых экосистем имеет то же распределение, что и в лесных экосистемах. Таким образом, в современных климатических условиях экологическое водопотребление, обеспечиваемое естественными осадками, в округах Хайюань, Тунсинь и Яньчи в центральной аридной зоне, а также в округе Сицзи в южном горном районе находится в дефиците,

поэтому широкомасштабная культивация растительности в этих округах проводиться не должна. Следовательно, облесение должно проводиться на низких и плоских участках, обеспеченных запасами фреатических вод, а древесные виды должны быть устойчивы к засухе и засолению. Обоснованная структура высадки растений также должна проектироваться в южных горных районах Юаньчжоу и Пэньян.

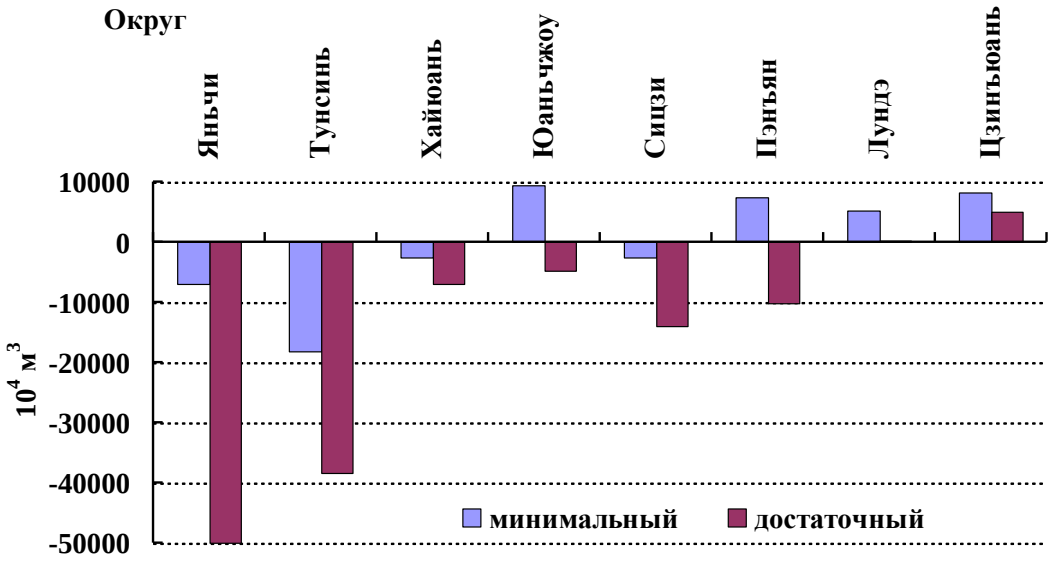



**Рис. 4.** Баланс между экологическим водопотреблением лесных экосистем, обеспечиваемый естественными осадками, и ресурсами осадков.

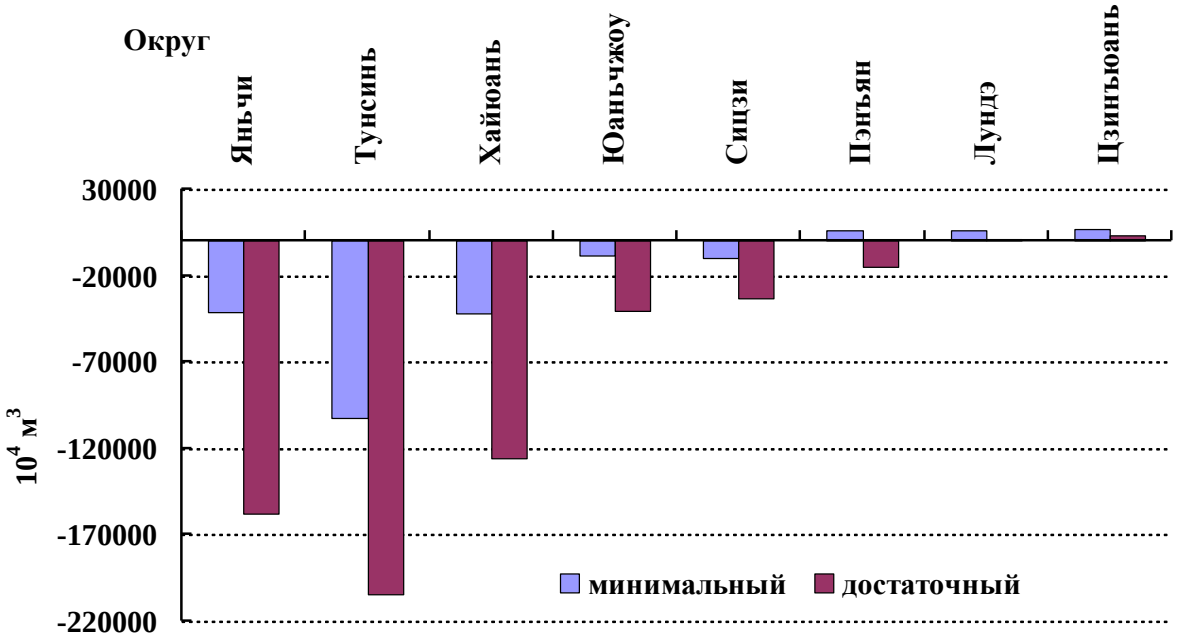



**Рис. 5.** Баланс между экологическим водопотреблением луговых экосистем, обеспечиваемый естественными осадками, и ресурсами осадков.

*Анализ баланса между экологическим водопотреблением при орошении и ресурсами осадков.* Хотя искусственно созданные леса и однолетние луга нуждаются в орошении, оценками осадков в данном случае пренебрегать не следует. Поэтому в данном исследовании утверждается, что экологическое водопотребление искусственно созданных лесов и однолетних лугов остается дефицитным после

вычета годовых сумм осадков; поэтому был проведен анализ баланса ресурсов осадков и ресурсов орошения для искусственно созданных лесных и луговых экосистем. Согласно рисунку 6, анализ баланса годовых осадков показывает, что лесные и луговые экосистемы в округах Цзинюань, Лундэ и Пэнъян не нуждаются в орошении как для минимальных, так и для достаточных условий водопотребления. При минимальном водопотреблении луговых экосистем в других округах не требуется дополнительное привлечение воды, тогда как лесные питомники требуют орошения. Для формирования достаточного водопотребления луговых и лесных экосистем в этих районах требуется дополнительное привлечение воды. Приведенный выше анализ, основанный на среднегодовых данных, приближенный; необходимы дальнейшие исследования по анализу ежемесячного баланса.

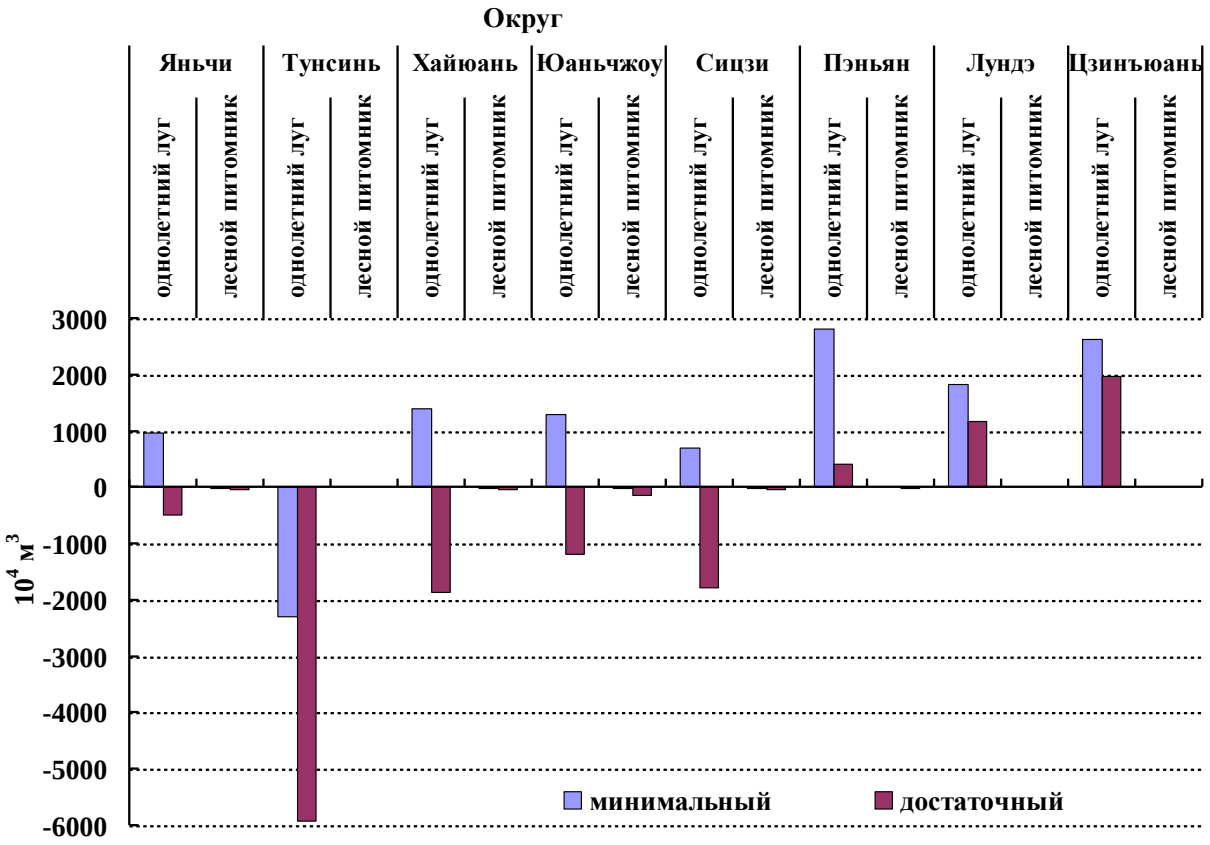



**Рис. 6.** Баланс между экологическим водопотреблением растительности при орошении и ресурсами осадков.

*Соотношение между экологическим водопотреблением, обеспечиваемым осадками, и региональными водными ресурсами.* Был проведен анализ баланса между экологическим водопотреблением, обеспечиваемым осадками, и региональными водными ресурсами для выявления соотношения между ними, и для дальнейшего определения взаимосвязи между количеством воды, необходимой для экологического строительства, и водными ресурсами. При оценке баланса между водными ресурсами и экологическим водопотреблением лесных и луговых экосистем, формирующимся за счет осадков, используются два понятия: минимальное экологическое водопотребление и достаточное экологическое водопотребление. К тому же, согласно предыдущим оценкам и анализу, доля использования стока при формировании экологического водопотребления лесных и луговых экосистем пренебрежительно мала по сравнению с осадками, формирующими водопотребление, и поэтому в данной работе не учитывается. Анализируется баланс только между экологическим водопотреблением, обеспечиваемым осадками, и ресурсами осадков. Баланс между экологическим водопотреблением и ресурсами осадков может быть выражен как (Guo et al., 2011; Hao et al., 2010; Sun et al., 2016; Zhou et al., 2015; Bai et al., 2014; Hao et al., 2009; Li, Zhang, 2014a, 2014b):

$$W_j + W_{in} = W_{out} + W_d + W_{zf} + \Delta W, \quad (8)$$

где $W_j$ – средние годовые осадки по региону, $10^4$ м$^3$; $W_{in}$ и $W_{of}$ – приток и отток воды соответственно, $10^4$ м$^3$, а $W_{of}$=0 во всех округах; $W_d$ – средний годовой сток по региону, $10^4$ м$^3$; $W_{zf}$ – среднее годовое испарение, $10^4$ м$^3$; $\Delta W$ – изменение среднего годового объема запасов воды, которым для среднегодовых показателей можно пренебречь ($\Delta W$=0).

В таблице 3 представлены результаты расчета баланса водных ресурсов для всех округов, выполненные в соответствии с формулой (8). Среднее годовое испарение в регионе ($W_{zf}$) включает: испарение основными сельскохозяйственными угодьями, лесами и лугами, получающими питание за счет атмосферных осадков; испарение лесами и лугами, которые питаются за счет стока.

**Таблица 3.** Экологическое водопотребление, обеспечиваемое осадками и баланс водных ресурсов.

| **Округ** | $Q_{jy}$, $10^4$ м$^3$ | | $W_j$, $10^4$ м$^3$ | $W_d$, $10^4$ м$^3$ | $W_{in}$, $10^4$ м$^3$ | $W_{zf}$, $10^4$ м$^3$ | **N, %** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Миним.** | **Достат.** | | | | | **Миним.** | **Достат.** |
| Яньчи | 47069 | 109424 | 158380 | 4070 | 0 | 154310 | 30 | 71 |
| Тунсинь | 58236 | 90287 | 113531 | 2524 | 1379 | 112386 | 52 | 80 |
| Хайюань | 36230 | 89394 | 113240 | 5830 | 1790 | 109200 | 33 | 82 |
| Юаньчжоу | 55500 | 90153 | 130530 | 11985 | 1645 | 120190 | 46 | 75 |
| Сицзи | 41967 | 83442 | 132048 | 8092 | 78 | 124034 | 34 | 67 |
| Пэнъян | 44867 | 76508 | 118322 | 8870 | 0 | 109452 | 41 | 70 |
| Лундэ | 3257 | 5847 | 50911 | 7110 | 0 | 43801 | 7 | 13 |
| Цзинъюань | 2885 | 5689 | 70320 | 19350 | 0 | 50970 | 6 | 11 |

**Примечание к таблице 3.** $Q_{jy}$ – экологическое водопотребление, обусловленное осадками; $W_j$ – средние годовые осадки; $W_d$ – средний годовой сток; $W_{in}$ – приток воды; $W_{zf}$ – среднее годовое испарение; N=$Q_{jy}/W_{zf}$; Миним. и Достат. – значения при минимальном и достаточном водопотреблении.

Используя данные таблицы 3, расположив округи в порядке убывания отношения величины достаточного экологического водопотребления, обусловленного осадками, к суммарному испарению: Тунсинь, Хайюань, Юаньчжоу, Пэнъян, Яньчи, Сицзи, Лундэ и Цзинъюань, – можно заметить общую тенденцию убывания этого отношения с севера на юг. Доля минимального экологического водопотребления, обусловленного осадками, по отношению к суммарному испарению в округах Яньчи, Тунсинь и Хайюань центральной аридной зоны и округах Юаньчжоу, Сицзи и Пэнъян в южной горной области составила 30-52%, а соответствующее значение для достаточного экологического водопотребления составило 67-82%. Все эти доли довольно значительные, но, в общем, разница между ними мала. Остальную часть суммарного испарения можно отнести к испарению воды почвой и испарению на отдельных подходящих для леса участках и пустошах; эта часть относится к непродуктивным потерям воды на испарение. Таким образом, остается определенное место для распространения на этой территории растительности. Вполне реально увеличить область распространения лесной и луговой растительности на пустоши и подходящие для леса земли, для чего необходимо совершенствовать технологии, направленные на сохранение почвенной влаги и перевода непродуктивных потерь воды на испарение в экологическое водопотребление, что позволит полностью использовать ресурсы осадков и улучшить экологическую среду. В округах Лундэ и Цзинъюань, расположенных в южной горной местности, доля экологического водопотребления, обусловленного осадками, в суммарном испарении небольшая, что свидетельствует о наличии больших возможностей для распространения лесной и луговой растительности в этих двух округах.

## Выводы

1. Для расчета регионального экологического водопотребления использованы методы Торнтвэйта и Пенмана-Монтейта; в исследовании впервые было выполнено сравнение полученных результатов.

Сделан вывод, что результаты, полученные по методу Пенмана-Монтейта, учитывающему различные метеорологические и географические факторы, более обоснованы; результаты расчетов потенциального испарения по методу Торнтвэйта для лета близки к аналогичным результатам, полученным по методу Пенмана-Монтейта, поэтому метод Торнтвэйта может быть использован для расчета потенциального испарения летом в районах с недостатком данных.

2. Потенциальное испарение ($ET_0$) в 8 округах показывает устойчивую тенденцию изменения. Потенциальное испарение возрастало с января по июль, а затем уменьшалось с августа по декабрь. Его значение достигло максимума в июне или июле и составляло более 100 мм/месяц. В пространственном распределении потенциального испарения отмечается тенденция его увеличения с юга на север, наименьшими значениями характеризуются округа Цзинъюань и Лундэ в южной горной местности, наивысшими – округа Тунсинь и Хайюань в центральном аридном регионе.

3. Минимальное и достаточное экологическое водопотребление лесных и луговых экосистем в округах Лундэ и Цзинъюань, расположенных в южных горных районах со среднегодовым количеством осадков 350-550 мм, может быть удовлетворено за счет осадков; растительность лесов и лугов здесь находится в хорошем состоянии. Минимальное экологическое водопотребление лесных и луговых экосистем в округах Пэнъян и Юаньчжоу, расположенных в южных горных районах со среднегодовым количеством осадков около 350 мм, может быть удовлетворено за счет осадков, в то время как достаточное экологическое водопотребление – не может. В этих округах необходимо обоснованное планирование структуры посадки лесов и лугов. Минимальное и достаточное экологическое водопотребление лесных и луговых экосистем в округах Хайюань, Яньчи и Тунсинь, расположенных в центральной засушливой области, и округе Сицзи в южном горном районе со среднегодовым количеством осадков 175-280 мм не может быть обеспечено естественными осадками, поэтому в этих областях не следует планировать широкомасштабное развитие лесных и луговых массивов.

4. Доли минимального Доля минимального экологического водопотребления, обусловленного осадками, по отношению к суммарному испарению в округах Яньчи, Тунсинь и Хайюань центральной аридной зоны и округах Юаньчжоу, Сицзи и Пэнъян в южной горной области довольно значительная, но, в общей сложности разница между ними мала. Остальную часть суммарного испарения можно отнести к испарению воды почвой и испарению на отдельных подходящих для леса участках и пустошах; эта часть относится к непродуктивным потерям воды на испарение. Таким образом, остается определенное место для распространения на этой территории растительности. Вполне реально увеличить область распространения лесной и луговой растительности на пустоши и подходящие для леса земли, для чего необходимо совершенствовать технологии, направленные на сохранение почвенной влаги и перевода непродуктивных потерь воды на испарение в экологическое водопотребление, что позволит полностью использовать ресурсы осадков и улучшить экологическую среду. В округах Лундэ и Цзинъюань, расположенных в южной горной местности, доля экологического водопотребления, обусловленного осадками, в суммарном испарении небольшая, что свидетельствует о наличии больших возможностей для распространения лесной и луговой растительности в этих двух округах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Bai Y., Xu H., Ling H., Wang X.* 2014. Spatial distribution and ecological water requirement of natural vegetation in trunk region of Tarim River // Journal of Desert Research. No. 34 (5). P. 1410-1417.

*Chu B., Shang S.* 2009. Methods for calculating water requirement and consumption of forest and grass vegetation in river valley and their application // Water resource response and sustainable utilization in changing environment: Proceedings of 2009 academic annual conferences. Committee on Water Resources, Chinese Hydraulic Engineering Society. Dalian: Dalian University of Technology Press. P. 479-482.

*Deng J.* 2009. Research on the rational allocation of ecological water and water resources in Weihai. Beijing: Beijing Forestry University. P. 72-77.

*Gao K.* 2008. Study on ecological water requirement in western Jili. Changchun: Master’s Thesis of Jilin University. 5 p.

*Guo Q., Yang Y., Li J., Chen Z.* 2011. Study on ecological water requirement of Ejina oasis and prediction // Arid Land Resources and Environment. No. 25 (5). P. 135-139.

*Hao B., Su X., Ma X.* 2010. Study on ecological water requirement of natural vegetation in Minqin county of Gansu // Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry (Natural Science Edition). No. 38 (2).

P. 243-250.

*Hao B., Su X., Ma X., Zhang D.* 2009. Research progress of ecological water requirement of vegetation in arid areas // Journal of Water Resources and Hydraulic Engineering. No. 20 (4). P. 135-139.

*He Y., Li W., Li G., Min Q., Zhao H.* 2004. Study on ecological water requirement of forest vegetation in Loess Plateau region // Environmental Sciences. No. 25 (3). P. 35-39.

*Hu Sh., Pan Y., Kang Sh., Song Y., Tian Ch.* 2005. Comparison of potential evapotranspiration estimates for reference crops in Tarim Basin using Penman-Monteith and modified Penman methods // Agricultural Engineering Journal. No. 21 (6). P. 30-33.

*Jia B., Ci L.* 2000. Preliminary estimation of ecological water requirement in Xinjian // Acta Ecologica Sinica. No. 18 (2). P. 243-250.

*Li J., Zhang W.* 2014a. Study on ecological water requirement of vegetation along river courses in Guyuan, Ningxia // Yellow River. No. 36 (1). P. 57-60.

*Li J., Zhang W.* 2014б. Study on ecological water demand of forest and grass vegetation in arid region in central and southern Ningxia // Bulletin of Soil and Water Conservation. No. 34 (2). P. 276-280.

*Min Q., Geng Y.* 2005. Estimation and analysis of ecological water requirement in Jinghe drainage basin // Resource Science. No. 27 (4). P. 14-17.

*Shen G.* 2001. Ecological environment construction and water resources protection and utilization // Soil and Water Conservation in China. No. 23 (1). P. 4-7.

Statistics of Areas and Structures of Forestlands and Grasslands in Counties of Ningxia Hui Autonomous Region. Forestry Department of Ningxia Hui Autonomous Region. 2014.

*Sun D., Hu X., Jin Y., Zhang Y., Li Y.* 2016. Estimation and prediction of ecological water requirement of natural vegetation in middle reaches of Shule River // Arid Land Geography. No. 39 (1). P. 154-162.

*Wang M., Li H.* 1995. Quantitative study on soil moisture dynamics of artificial woodlands in the loess region of northwest Shanxi Province // Acta Ecologica Sinica. No. 15 (2). P. 178-184.

*Yang Z., Cui B., Liu J.* 2003. Theory of ecological water requirement, methods, and practice Beijing: Science Press. P. 122-72.

*Zhou D., Shen Y., Chen Y., Guo Y., Zhang B.* 2015. Estimation of ecological water requirement of desert vegetation in northwest arid region // Chinese Journal of Ecology. 34 (3). P. 670-680.

*АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2019, том 25, № 4 (81), с. 16-29*

## СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 631.671

# ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ДИНАМИКЕ ПОЙМЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ И ЛАНДШАФТОВ НИЗОВЬЕВ СЫРДАРЬИ В СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ УСЛОВИЯХ[1]

**© 2019 г. Ж.В. Кузьмина*, С.С. Шинкаренко**, ***, Д.А. Солодовников****

**Институт водных проблем РАН*
*Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: jannaKV@yandex.ru*
***Волгоградский государственный университет*
*Россия, 400062, г. Волгоград, Университетский просп., д. 100. E-mail: solodovnikov@volsu.ru*
****Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН*
*Россия, 400062, г. Волгоград, Университетский просп., д. 97. E-mail: shinkarenko@volsu.ru*

Поступила в редакцию 08.04.2018. После доработки 12.05.2019. Принята к публикации 13.05.2019.

Аральская катастрофа привела к почти полной утрате Аральского моря. После строительства Кокаральской плотины в 2005 году стало возможным спасение северной части Аральского моря (Малого Арала). В связи с естественными (климатическими) и антропогенными причинами в начале 21 века возрос сток реки Сырдарьи и резко изменился ее гидрологический режим, сократились весенне-летние паводки и существенно увеличились зимние сбросы. Все эти изменения сильно влияют на динамику пойменных экосистем и ландшафтов. В работе была сделана попытка комплексно оценить существующие сегодня тенденции в динамике экосистем и ландшафтов в изменяющихся условиях среды. Работа выполнена на основе полевых материалов с привлечением данных дистанционного зондирования спутника Sentinel 2, а также климатических и гидрологических материалов. Анализ камеральных и полевых данных проводился по разработанной методике оценки трансформаций в экосистемах и ландшафтах от естественных и гидротехнических нарушений, разработанных Ж.В. Кузьминой и С.Е. Трешкиным. Установлено, что основными тенденциями: для второго пойменного уровня долины реки является гидроморфное солончакообразование; для межрусловых понижений дельты – постепенное понижение УГВ при плавном повышении засоления почв с глубиной без сильного засоления сверху; для третьего пойменного уровня и надпойменной террасы – выход территорий из поемного режима без усиления засоления почвогрунтов; для понижений первого и второго уровней поймы – замещение многолетнего типичного травостоя в связи с его вымерзанием и вымоканием на однолетнее маловидовое сорнотравье из-за зимних сбросов.
*Ключевые слова:* Сырдарья, весенне-летние паводки, зимние сбросы, пойма, уровень грунтовых вод, пойменные экосистемы и ландшафты, галофитная растительность, засоление почв.
**DOI: 10.24411/1993-3916-2019-10070**

Аральская катастрофа широко известна во всем мире и привлекает множество исследователей. После строительства Кокаральской плотины в 2005 году стало возможным спасение северной части Аральского моря (Малого Арала). В этих условиях особенную значимость имеет река Сырдарья,

[1] Работа выполнена по теме НИР ИВП РАН (Госзадание № 0147-2019-0002) «Моделирование и прогнозирование процессов восстановления качества вод и экосистем при различных сценариях изменений климата и антропогенной деятельности» (№ государственной регистрации АААА-А18-118022090104-8), а также по теме НИР ФНЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН «Провести теоретическое и геоинформационное моделирование, мониторинг, прогноз процессов деградации компонентов агролесоландшафтов на основе аэрокосмических исследований в лесостепной, степной и пустынной зонах и разработать способы управления противодеградационными агролесомелиоративными технологиями предотвращения опустынивания земель, повышения их плодородия и формирования экологического каркаса» (№ государственной регистрации АААА-А16-116122010038-9).

которая питает Малый Арал. В начале 21 века возрос сток реки в силу ряда факторов: естественное увеличение водности реки, снижение водопотребления и большие сбросы из Токтогульского водохранилища для производства электроэнергии (Кипшакбаев и др., 2010). В современных условиях климатических изменений и водопользования в бассейне особенно важными становятся исследования состояния пойменных ландшафтов реки. Прогрессирующие процессы обсыхания дельты Сырдарьи были отмечены еще в середине прошлого века (Боровский, 1953). Комплексного анализа, охватывающего все компоненты периодически заливаемых естественных ландшафтов Сырдарьи в нижнем течении в условиях современных климатических изменений не проводилось в течение почти двух десятков лет, имеющиеся работы опираются на данные до 1994 года и полевые исследования 2000-2002 гг. (Novikova et al., 2000; Novikova, Kuz'mina, 2008). Низовьям Сырдарьи посвящено немало работ, но основная часть касается либо только современной дельтовой части и озерных систем (Аральское море и Приаралье, 2017; Кипшакбаев и др., 2010; Шинкаренко, Солодовников, 2018), орошаемых массивов (Веселова и др., 2017), анализу растительности (Димеева, 2011; Куанышова и др., 2017; Курочкина, 2015; Огарь, Акназарова, 2007) или почв (Мустафаев и др., 2016), либо посвящены только климатическим (Кузьмина, Трешкин, 2016; Yao, Chan, 2015) или гидрологическим изменениям (Попова, Мусенова, 2010; Сагаев и др., 2015; Самбаев, 2017; Шонбаева и др., 2015а; 2015б; Savoskul, 2003). Поэтому в настоящей работе была сделана попытка комплексно оценить существующие сегодня тенденции в динамике экосистем и ландшафтов в изменяющихся условиях среды.

## Объекты и методы исследований

Исследования выполнялись на двух модельных участках (по двум ландшафтно-экологическим профилям) в Казалинском районе Кызылординской области Казахстана в сентябре 2017 г. (рис. 1) Работы заключались в инструментальном профилировании с помощью нивелира, установлении уровня грунтовых вод (УГВ) в почвенных шурфах, а также путем бурения ручным почвенным пробоотборником и с помощью георадара ОКО-2 по разработанной авторами методике (Солодовников и др., 2017). На профилях проводились описания экосистем, включающие: геоботанические описания; морфологическое описание почвенных разрезов, заложенных до УГВ, отбор образцов почв для последующего анализа (общее засоление в %, гумус, гигроскопическая влага). Гидрологические исследования выполнены с помощью эхолота.

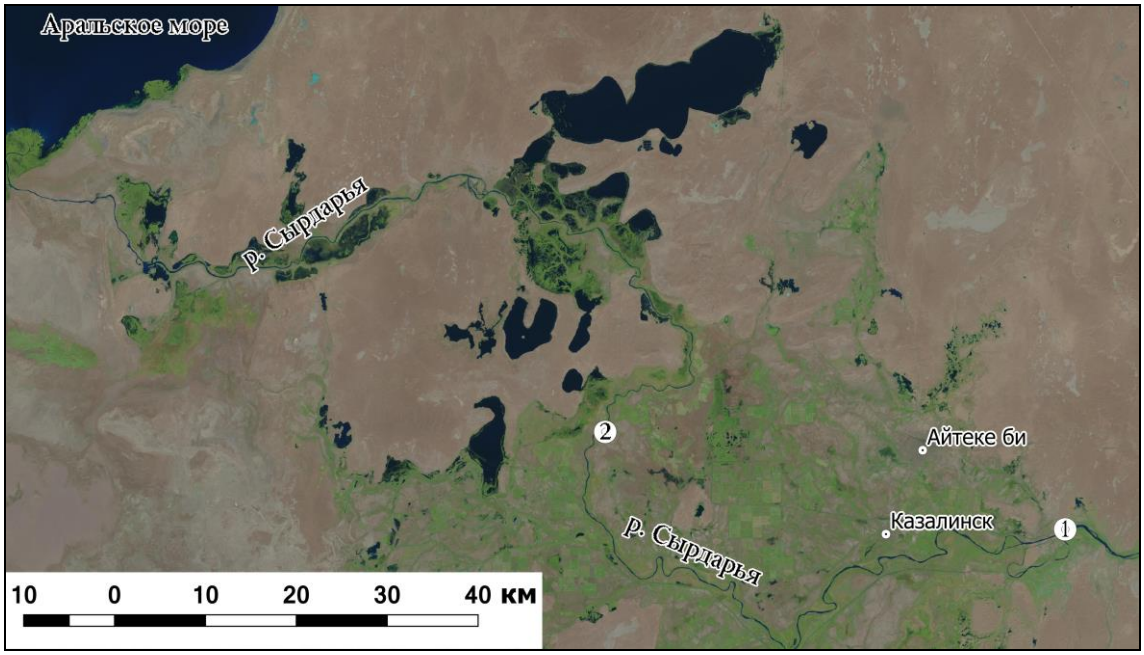


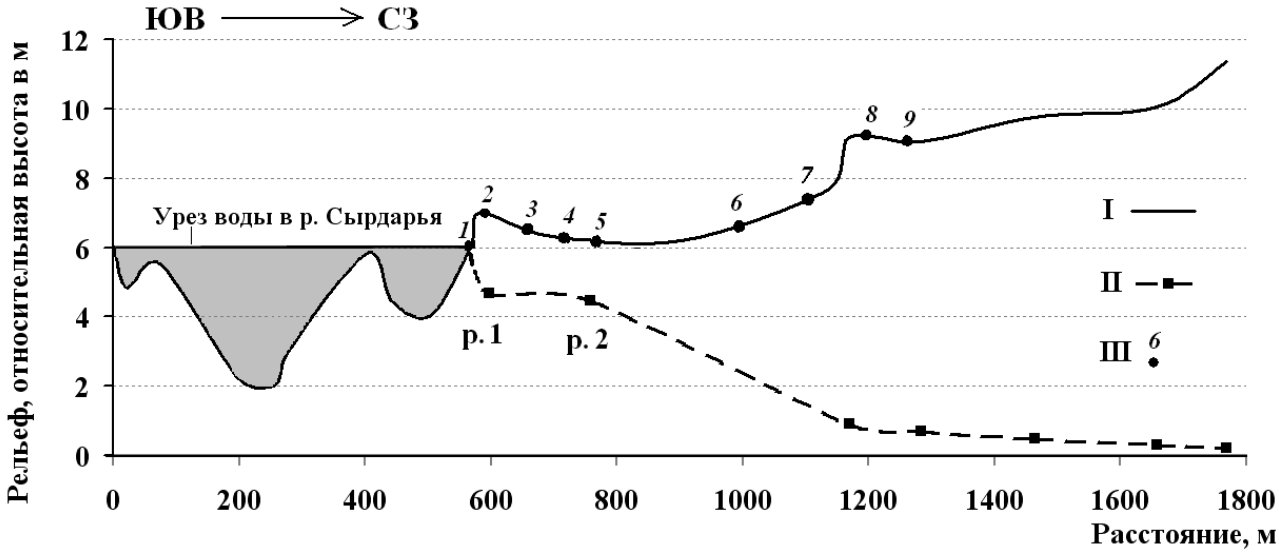

**Рис. 1.** Расположение модельных экологических профилей 1 и 2 (белые кружки) на цветосинтезированном космоснимке Landsat 8 OLI (комбинация каналов 4-3-2) от 15 сентября 2017 г.

В работе использованы данные дистанционного зондирования спутника Sentinel 2 разрешением 10 м для предварительного обследования территории перед полевым выездом и определения площадей заливания в пойме. На основе классификации инфракрасного канала спутниковых снимков за 4 апреля, 4 мая и 21 сентября 2017 года по ранее апробированной методике (Рулев и др., 2017) было выделено и векторизовано водное зеркало.

Данные по стоку Сырдарьи взяты из открытых источников (Аральское море и Приаралье, 2017; Духовный, 2015; Кипшакбаев и др., 2010).

Анализ полевых материалов проводился по разработанной методике оценки трансформаций в экосистемах и ландшафтах от естественных и гидротехнических нарушений (Кузьмина, 2017; Кузьмина, Трешкин, 2017, 2018).

Первый ландшафтно-экологический профиль расположен в вершине дельты Сырдарьи возле аула Басыкара на километр выше по течению от Казалинского гидроузла (ниже начинается Казалинская оросительная система) и примерно на 20 км выше пос. Казалинск (начало профиля – урез левого берега реки 45° 45' 48.2" с.ш., 62° 21' 23.4" в.д. – урез правого берега 45° 46' 1.1" с.ш., 62° 21' 13.9" в.д. – конец профиля на правом берегу 45° 46' 34.9" с.ш., 62° 20' 55" в.д.; рис. 2).




| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| А | 1 | 2 | 3 | 4 | | | | 5 | 6 | 7 | 8 | | 9 |
| Б | | 1 | 2 | 3 | | | | 4 | 5 | | | | 6 |
| В | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | | | |

**Рис. 2.** Первый ландшафтно-экологический профиль в пойме р. Сырдарьи. *Условные обозначения.* На графике: I – отнивелированный рельеф, II – положение УГВ по шурфам и георадарной съемке 15.09.2017, III – местоположение и номер модельных точек с описанием растительных сообществ по таблице 1. В таблице под графиком: А – рельеф – 1 – подводный рельеф русла реки, 2 – первый пойменный уровень ежегодно заливаемый (нижняя пойма), 3 – прирусловой вал второго пойменного уровня (ВПУ) неежегодно заливаемого – средняя пойма, 4 – межрусловое понижение ВПУ, 5 – склон с верхней поймы на среднюю пойму ВПУ, 6 – искусственный прирусловой вал (дамба) третьего пойменного уровня (ТПУ) очень редко заливаемый – верхняя пойма, 7 – искусственное понижение после дамбы ТПУ, 8 – выположенная естественная поверхность ТПУ, 9 – первая надпойменная терраса, никогда не заливаемая в современный период; Б – почвы – 1 – аллювиальная слабосформированная глинисто-суглинистая незасолённая, 2 – аллювиальная луговая суглинисто-глинистая сильно солончаковато-засолённая с поверхности (до глубины 38 см), 3 – солончак гидроморфный суглинисто-глинистый сильно глубоко-засолённый до УГВ (до 173 см), 4 – солончак типичный суглинисто-глинистый глубоко-засолённый поверхностно опесчаненный, 5 – солончак такыровидный глубокозасолённый суглинисто-глинистый, 6 – песчаная слабосформированная слабозасолённая с поверхности глубокозасолённая; В – растительность (сообщество) – 1 – злаково-

дурнишниковая (Ass. *Xanthium albinum–Calamagrostis pseudophragmites*), 2 – сведово-ажрековая с участием гребенщика (Ass. *Aeluropus pungens–Suaeda linifolia–Tamarix* spp.), 3 – кермеково-солеросово-ажрековая (Ass. *Aeluropus pungens+Salicornia perennans–Limonium gmelinii*), 4 – солеросово-ажреково-гребенщиковая (Ass. *Tamarix hispida–Aeluropus pungens+Salicornia perennans*), 5 – ажреково-болотницево-ситниковая (Ass. *Juncus* sp.+*Eleocharis palustris+Aeluropus pungens*), 6 – ситниково-ажрековая с участием сарсазана (Ass. *Aeluropus pungens+Juncus* sp.–*Halocnemum strobilaceum*), 7 – ажреково-вьюнково-кейреуковая (Ass. *Salsola orientalis+Convolvulus fruticosus–Aeluropus pungens*), 8 – житняково-полынно-софоровая (Ass. *Pseudosophora alopecuroides–Artemisia terrae-albae+Agropyron fragile*), 9 – разреженная вьюнково-софоровая сильно сбитая (Ass. *Pseudosophora alopecuroides–Convolvulus fruticosus*).

**Таблица 1.** Видовой состав сообществ и степень гидрогенного нарушения экосистем на модельных точках экологического профиля 1.

| **№ геоботанического описания** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Гидрогенная нарушенность экосистем (Кузьмина, Трешкин, 2017)** | **3** | **3** | **4** | **4** | **4** | **4** | **4** | **4** |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Проективное покрытие, % | 45 | 85 | 90 | 30 | 60 | 20 | 20 | 15 |
| Количество видов, ед. | 21 | 17 | 8 | 5 | 6 | 3 | 8 | 8 |
| Средняя высота травостоя, см | 30 | 40 | 45 | 50 | 20 | 20 | 25 | 35 |
| Вид | Обилие по Друде с дополнениями (Кузьмина, Трешкин, 2001) | | | | | | | |
| *Tamarix ramosissima* | | Un (2 ex.) | | | | | | |
| *Tamarix hispida* | Sp (всходы) | | | Sp (10 ex.) | | | | |
| *Halimodendron halodendron* | | Sol | | | | | | |
| *Lycium ruthenicum* | | Sol | | | | | | |
| *Clematis orientalis* | | Un | | | | | | |
| *Limonium gmelinii* | Un | Sol | Cop1 | Sol gr | Un | | | |
| *Limonium suffruticosum* | | | | | | | Un | |
| *Ceratocarpus utriculosus* | | | | | | | Sol | Sol gr |
| *Chenopodium rubrum* | Sol | | | | | | | |
| *Halimione verrucifera* | | Un | Sol | | | | | |
| *Halocnemum strobilaceum* | | | | | | Sol | | |
| *Horaninovia ulicina* | | | | | | | | Un |
| *Petrosimonia brachiata* | | Sp | | | | | | |
| *Salicornia perennans* | Sol | Sp | Cop1 | Sp | Un | | | |
| *Salsola incanescens* | | | | | | | | Sol |
| *Salsola orientalis* | | | | | | | Sp gr | |
| *Suaeda crassifolia* | | | | | Un | | | |
| *Suaeda linifolia* | | Cop1 | Sol | | | | | |
| *Suaeda* sp. | Un | | | | | | | |
| *Alhagi pseudalhagi* | | | | | | | Sol | |
| *Lotus sergievskiae* | Un | | | | | | | |
| *Pseudosophora alopecuroides* | Sol | Sp | Sol | | | | | Sp |
| *Peganum harmala* | | | | | | | Sol | |
| *Centaurium spicatum* | Un | | | | | | | |
| *Convolvulus fruticosus* | | | | | | | Sol gr | Sol |
| *Cuscuta* sp. | Un | | | | | | | |
| *Plantago major* | Un | | | | | | | |

**Продолжение таблицы 1.**

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Artemisia terrae-albae* | | | | | | | | Sol gr |
| *Cousinia affinis* | | | | | | | Sol | Sol gr |
| *Karelinia caspia* | Sol | Un | | | | | | |
| *Pulicaria vulgaris* | Un | | | | | | | |
| *Tripolium pannonicum* | Un | Un | Sol | | | | | |
| *Xanthium albinum* | Cop1 | Sol | | | | | | |
| *Juncus* sp. | Sol | | | Sol gr | Cop1 | Sp | | |
| *Eleocharis palustris* | Sol | | | | Sp gr | | | |
| *Aeluropus pungens* | Sp | Cop2 | Cop2 | Sp gr | Sp | Sp | Sp gr | |
| *Agropyron fragile* | | | | | | | | Sol gr |
| *Calamagrostis pseudophragmites* | Sp gr | Sol | | | | | | |
| *Crypsis turkestanica* | Sol | | | | | | | |
| *Echinochloa crus-galli* | Sol | | | | | | | |
| *Phragmites australis* | Sol | | | | | | | |
| *Puccinellia* sp. | | Un | Sol | | | | | |

На первом профиле представлены все основные формы рельефа (от низкой поймы до первой надпойменной террасы). При этом, бывшая верхняя пойма, ранее иногда заливавшаяся паводковыми водами Сырдарьи, сегодня отчленена рукотворной дамбой, проходящей по бровке бывшей верхней поймы, которая создана для защиты поселка от затоплений, случающихся из-за ледяных заторов в зимний период на входе в гидроузел. Первый экологический профиль проходит по естественным и старовозрастным залежным землям, растительность которых в настоящее время аналогична ненарушенным распашкой и мелиорацией ландшафтам, но подвергается нарушениям от выпаса.

Второй ландшафтно-экологический профиль расположен в 10 км ниже по течению от моста через Сырдарью по дороге от Казалинска к поселку Бекарыстан Би (начало профиля 45° 51' 51.2" с.ш., 61° 42' 18.6" в.д. – конец профиля 45° 51' 30.3" с.ш., 61° 42' 14.8" в.д.). Русло реки здесь достаточно глубоко врезано в равнину, даже в половодье вода не преодолевает прирусловые валы, по обоим берегам расположены неиспользуемые бахчи, рисовые чеки, и неглубокие (до 0.5 м глубиной) каналы (рис. 3). На профиле представлены в основном нижние уровни поймы с обсохшим днищем меандрового понижения: нижняя и средняя пойма. Несмотря на то, что на втором профиле не представлены древесно-кустарниковые сообщества, на противоположном – левом берегу реки среди тростниково-чингиловой растительности встречаются отдельные деревья ивы и гребенщика. В пределах второго экологического профиля (на правом берегу реки) естественная древесно-кустарниковая растительность была полностью уничтожена в связи с орошением и выпасом.

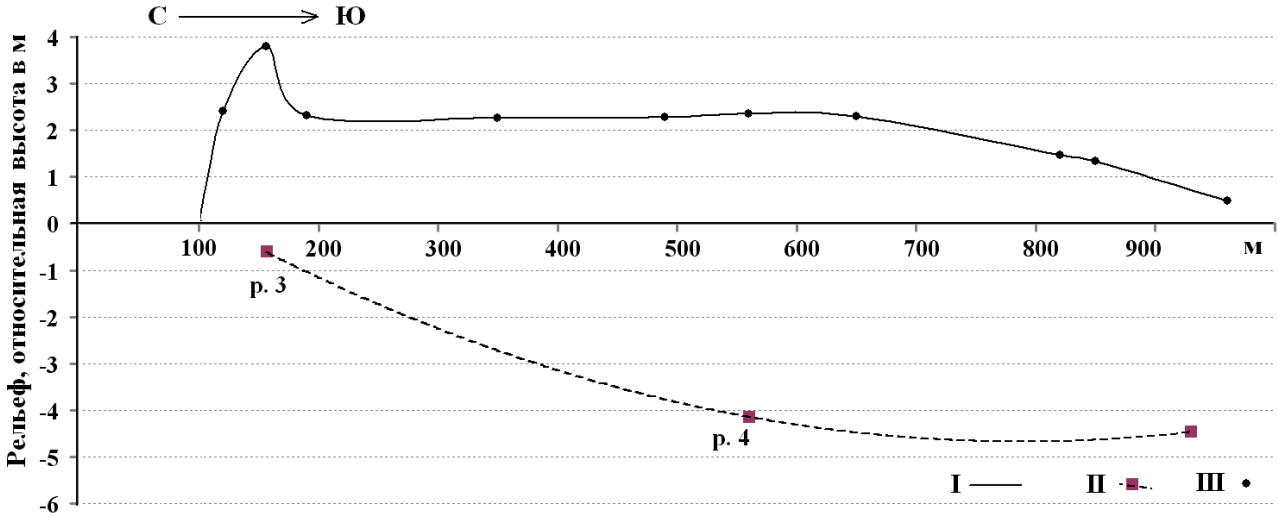
## Результаты и их обсуждение

Для выявления изменений в ландшафтах и экосистемах различных регионов в связи с изменением обводненности территорий нами была разработана определённая методика исследований (Кузьмина, Трешкин, 2017, 2018). В соответствии с ней первоначально выявлялись климатические и гидрологические изменения, которые могут повлиять на изменение экосистем и ландшафтов.

В ходе ранее выполненных исследований (Кузьмина, Трешкин, 2016), касающихся изменения климата, нами были установлены некоторые основные тенденции климатических изменений в регионе Приаралья и сопредельных территориях Средней Азии (для 8-ми метеостанций: Аральское море, Иргиз, Торгай, Туркестан (Казахстан), Чимбай, Тамды, Самарканд (Узбекистан), Чарджоу (Туркменистан)), а также оценена величина этих изменений как для отдельных климатических характеристик (осадков, средней, минимальной, и максимальной температуры воздуха), так и для их совокупного взаимного воздействия, поскольку изменение значения температуры воздуха на 1°С может привести к изменению испаряемости на многие десятки миллиметров (Постников, 2018).

Таким образом, для региона исследований для сумм атмосферных осадков основной тенденцией

является их значимое повышение в годовом цикле происходящее за счёт холодного полугодия и зимнего сезона, а также в некоторой степени за счёт теплого полугодия, в связи с увеличением осадков зимой и осенью (Кузьмина, Трешкин, 2016), поскольку некоторые месяцы осеннего сезона входят в теплое полугодие. В среднем за год увеличение осадков по тренду достигло в регионе 61 мм (от 38 до 94 мм), учитывая, что среднемноголетние значения здесь составляют всего 112-197 мм в год. Таким образом, относительный коэффициент изменений осадков (ОКИ[2] осадков) составил от 10% на юге (Туркменистан) до 38% на севере (Казахстан).




| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| А | 1 | 2 | 3 | 2 | 4 | | | | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Б | | 1 | 2 | 3 | 4 | | | | 5 | 6 | 7 | 8 |
| В | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |

**Рис. 3.** Второй ландшафтно-экологический профиль в пойме р. Сырдарьи. *Условные обозначения:* На графике: I – отнивелированный рельеф, II – положение УГВ по скважинам и георадарной съемке 17.09.2017, III – местоположение модельных точек с описанием растительных сообществ. В таблице под графиком: А – рельеф – 1 – уровень реки – водная гладь – 17.09.2017, 2 – склон прируслового вала – второй пойменный уровень (ВПУ) – средняя пойма периодически заливаемая паводковыми водами, 3 – вершина прируслового вала – третий пойменный уровень (ТПУ) – верхняя пойменная терраса очень редко заливаемая паводковыми водами, 4 – выположенная поверхность ВПУ– периодически заливаемая паводковыми водами средняя пойма, 5 – пологий склон ВПУ на низкую пойму, 6 – бровка и склон первого пойменного уровня (ППУ) – низкая пойма ранее ежегодно заливаемая – урез воды высохшего озёрного меандрового понижения, 7 – пологий склон ППУ, 8 – днище обсохшего меандрового понижения ППУ; Б – почвы – 1 – аллювиальная слабосформированная суглинистая незасолённая, 2 – аллювиальная луговая супесчано-суглинистая среднезасолённая, 3 – луговый солончак сильнозасолённый с поверхности (до глубины 140 см), 4 – аллювиальная луговая слабозасолённая глинисто-суглинистая солончаково глубокозасолённая с глубины 320 см, 5 – аллювиальная луговая суглинисто-глинистая средне-глубокозасолённая, 6 – аллювиальная слоистая суглинистая незасолённая и слабозасолённая с поверхности средне- и

[2] ОКИ – относительный коэффициент изменений какого-либо параметра отражает отношение *модуля изменения трендовых значений* параметра (осадков, температуры, расходов или уровней воды, уровня грунтовых вод и др.) за многолетний период к *модулю амплитуды колебания фактических (измеренных) значений* этого параметра в многолетнем аспекте: $OKU = \frac{|F(g_n) - F(g_1)|}{|g_{\max} - g_{\min}|} 100\%$, где $F(g_1)$ и $F(g_2)$ начальные и конечные значения линейного тренда оцениваемой характеристики (в данном случае осадков), а $g_{\max}$ и $g_{\min}$ – максимальные и минимальные фактические (измеренные) значения этого параметра (осадков) за многолетний период (Кузьмина, Трешкин, 2014).

сильноглубокозасолённая, 7 – аллювиальная отакыренная глинистая слабозасолённая с поверхности средне- и сильноглубокозасолённая, 8 – такыр глинистый глубокозасолённый на месте высохшего озера; В – растительность – 1 – дурнишниковая (Ass. *Xanthium albinum*), 2 – тростниково-чингиловая (Ass. *Halimodendron halodendron–Phragmites australis*), 3 – софорово-солодковая (Ass. *Pseudosophora alopecuroides+Glycyrrhiza glabra*), 4 – пырейно-тростниково-солодковая (Ass. *Glycyrrhiza glabra+ Phragmites australis–Elytrigia repens*), 5 – тростник стелющейся формы (Ass. *Phragmites australis*), 6 – клубнекамышево-тростниковая (Ass. *Phragmites australis+Bolboschoenus maritimus*), 7 – додарциево-пырейно-тростниковая с участием единичного гребенщика (Ass. *Phragmites australis–Elytrigia repens+Dodartia orientalis–Tamarix ramosissima*), 8 – янтаково-кермеково-тростниковая (Ass. *Phragmites australis–Limonium gmelinii–Alhagi pseudalhagi*), 9 – дурнишниково-тростниковая (Ass. *Phragmites australis–Xanthium albinum*), 10 – янтаково-терескеновая с участием гребенщика (Ass. *Krascheninnikovia ceratoides+Alhagi pseudalhagi–Tamarix hispida*), 11 – разреженная парнолистниково-тростниковая (Ass. *Phragmites australis–Zygophyllum* sp.).

Для всех характеристик температур воздуха (средних, минимальных и максимальных) также выявлены только положительные достоверные тренды увеличения температуры, при этом среднегодовые температуры воздуха поднялись в среднем на 2°С (от 1.1°С до 2.7°С), средневесенние на 2.4°С (от 0.9°С до 3.5°С), среднеосенние на 2.1°С (от 1.1°С до 2.6°С), среднелетние на 2.2°С (от 1.8°С до 3.0°С) и среднезимние на 2.0°С (от 1.4°С до 3.6°С). Таким образом, потепление происходит как в холодный период, так и в теплый. Кроме того, произошло снижение заморозков в теплое полугодие на 3.5°С, а также ослабление самых сильных морозов в холодное полугодие на 4.1°С, что наряду с повышением средних температур воздуха может благотворно сказаться на урожайности сельскохозяйственных культур.

Однако, проведя анализ совокупного взаимодействия изменений тепла и влаги в регионе Приаралья (Кузьмина, Трешкин, 2016) на основе изменений индекса засушливости Педя и его модифицированного варианта (Кузьмина, Трешкин, 2014, 2016), мы пришли к выводу, что в настоящем и будущем в исследуемом регионе будут более теплыми и влажными зимы и холодное полугодие, в то время как в вегетационный период (весной, летом и осенью) произойдет очень сильное увеличение аридизации, особенно весной, что, в конечном итоге, скорее всего (без принятия дополнительных мер) ухудшит условия выращивания сельскохозяйственных культур.

Поскольку в регионе будет формироваться больше засух в весенний, летний и осенний сезоны, без дополнительных условий по обводнению территорий сельскохозяйственное производство не сможет функционировать.

Климатические изменения вносят свой вклад в изменения гидрологического режима рек, в том числе и Сырдарьи. Установленные тренды в изменении климата повлияют также и на естественную растительность как зональную, так и пойменную или дельтовую. Совершенно очевидно, что зональные экосистемы, растительность, почвы и в целом ландшафты при установленных климатических изменениях без дополнительных усилий по обводнению территорий, будут трансформироваться в сторону формирования более пустынных ксерофитных и экстраксерофитных или экстрагалофитных вариантов, в то время как мезофитные и ксеромезофитные подвергнутся полной необратимой редукции и опустыниванию. При этом пойменные и дельтовые экосистемы и ландшафты максимально зависят от гидрологического режима рек, поэтому их динамика может иметь несколько иные тенденции, полностью отражающие гидрологические изменения, которые, в свою очередь, возникают от совокупного воздействия изменений климата и антропогенной деятельности – зарегулирования стока рек.

Анализ многолетних изменений стока Сырдарьи показывает, что с 1988 года начался период повышенной водности реки (рис. 4), который продолжается до настоящего времени. Как видим, коэффициент корреляции (r) тренда многолетних фактических изменений стока достаточно велик (0.59-0.68) и имеет высокую значимость ($\alpha$=0.001). Начиная с 1988 года на всех горных реках Центральной Азии наблюдается многоводная фаза (Турсунов, Жиетбаева, 2004) продолжающаяся и сегодня (рис. 4). А поскольку все эти реки имеют снего-ледниковое питание, то такое повышение их водности тесно связано с общим потеплением климата и усилением таяния ледников и снежников, которое повсеместно наблюдается в Центральной Азии (Второй оценочный …, 2014).

Кроме того, межгосударственная транзитность реки Сырдарьи, протекающей по территории трех, теперь независимых государств (Кыргыстан, Казасхстан, Узбекистан), не самым лучшим образом сказалась на регулировании ее стока. После распада СССР резко изменился режим работы Токтогульского водохранилища, расположенного в Киргизии. До 1990 годов основные сбросы (около 75% общего расхода) из водохранилища приходились на весенне-летний период, что в общем и целом соответствовало естественному режиму реки Сырдарьи. В середине 90-х годов и, особенно в начале 2000-х годов, основные попуски воды (60%) стали проводить зимой, что связано с необходимостью выработки электроэнергии для Кыргызстана (Кудеков и др., 2005). Это полностью изменило естественный гидрологический режим реки и внутригодовое распределение стока. Вместо зимней межени проходят очень значительные зимние паводки, которые осложняются ледоставом, зажорами и ледяными заторами (Турсунов, Жиенбаева, 2004).

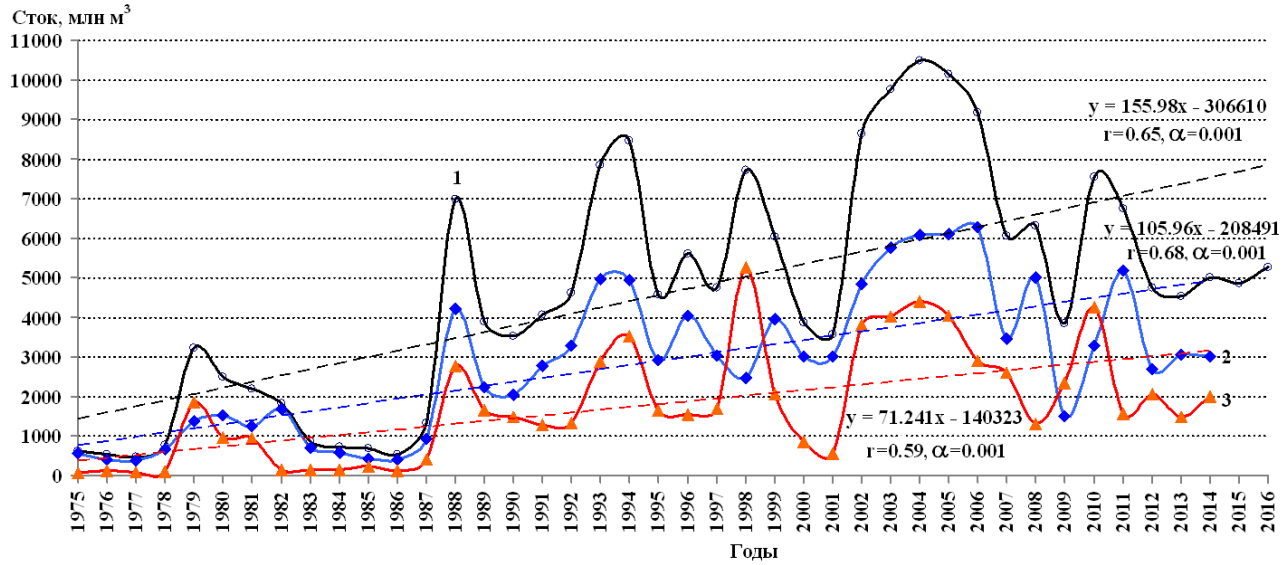



**Рис. 4.** Многолетнее изменение стока р. Сырдарьи по гидрологическому посту Каратерень. *Условные обозначения.* Кривые фактического стока с их линейными трендами, формулами и коэффициентами корреляции за: 1 – годовой период, 2 – холодное полугодие, 3 – теплое полугодие.

Это означает, что для долинных, пойменных и дельтовых экосистем и ландшафтов Сырдарьи возможен вариант изменения их основных тенденций развития, связанных с опустыниванием и засолением почв, существовавших до начала 1990-х годов (Novikova et al., 2001; Novikova, Kuz'mina, 2008).

Рассмотрим экосистемы *первого ландшафтно-экологического профиля* (рис. 2). Необходимо заметить, что первый профиль расположен в 20 км выше пос. Казалинск – перед Басыкаринским гидроузлом и отражает типичный пойменный ландшафт р. Сырдарьи в ее нижнем течении.

На первом профиле было заложено два почвенных разреза до уровня грунтовых вод (УГВ) на второй пойменной террасе и проведена георадарная съемка, которые показали, что УГВ в скважинах лежат на глубине от 6.3 до 9 м. Таким образом, можно сразу констатировать, что бывшая верхняя пойма (третий пойменный уровень) вышла из поёмного режима и теперь функционирует в автоморфном режиме, вне зависимости от влияния реки Сырдарьи. На автоморфный характер экосистем и ландшафтов указывает также и флористический состав растительных сообществ бывшей верхней поймы (рис. 2, В8, В9; табл. 1, г/б № 8). Из восьми видов растений зарегистрированных на бывшей верхней пойме только один вид условно можно отнести к мезоксерофитам, имеющим связь с пойменными ландшафтами – это псевдософора лисохвостная (*Pseudosophora alopecuroides*). Все остальные виды (табл. 1) относятся к ксерофитам и распространены в пустынных и пустынностепных местообитаниях, т.е. в ландшафтах не связанных с пойменным режимом. Появление в сообществах *Artemisia terrae-albae* и *Convolvulus fruticosus* указывает на зональный тип трансформации бывших пойменных ландшафтов.

Почвенный разрез № 1 (р. 1) первого ландшафтно-экологического профиля располагался на

прирусловом валу центральной поймы (второй пойменный уровень или вторая пойменная терраса), имел суглинисто-глинистый гранулометрический состав горизонтов, а УГВ вскрывался на глубине 2.3 м. При этом на глубинах 95-119 и 119-140 см находились два оглеенных висячих горизонта, которые говорят о периодическом довольно длительном более высоком стоянии грунтовых вод, скорее всего в зимний период. Почва представляла собой аллювиальный луговый солончак[3] засолённый с поверхности[4]: на глубине 0-4 см – до 14.44% (исключительно сильного засоления), на глубине 4-9 см – до 2.55% (очень сильного) и на глубине 9-38 см – до 1.31-1.26% (сильного). По средневзвешенному засолению вся почвенная толща до УГВ (0-230 см) имела среднюю степень засоления (0.68%), при этом в первом метре 1.31% (солончаковую – сильную степень), во втором – 0.21% (отсутствие засоления), в третьем метре – 0.28% (слабую степень). Фактически засоление, начиная с поверхностных горизонтов резко падало с глубиной, таким образом, что в первых 38 см почвы средневзвешенное засоление составляло 2.8%, а уже в последующих 62 см первой метровой толщи – только 0.31%, далее снижаясь с глубиной. Рассматриваемая почва располагалась под сведово-ажрековым лугом с участием гребенщика (табл. 1, г/б описание № 2) с высоким проективным покрытием (85%). Наличие в сообществе таких кустарников, как дереза русская (*Lycium ruthenicum,* sol), чингил (*Halimodendron halodendron,* sol), ломонос восточный (*Clematis orientalis,* Un), а также многолетников – акбаша (*Karelinia caspia,* Un), вейника (*Calamagrostis pseudophragmites,* sol) и однолетнего дурнишника (*Xanthium albinum,* sol) указывает на возможное рассоление верхних горизонтов почвы еще совсем недавно, поскольку эти виды растений слабо переносят засоление почв и распространены на незасоленных или отакыренных почвах с промытыми от солей поверхностными горизонтами. В тоже время отсутствие в данном сообществе всходов гребенщика (высотой 50 см), отмеченных на низкой пойме (табл. 1, г/, №1), свидетельствует о том, что в 2017 г. на участке почвенного разреза 1, т.е. на втором пойменном уровне отсутствовало весеннее заливание, которое было достаточной длительности на низкой пойме, поскольку экология гребенщика позволяет его семенам прорастать только после достаточного вымокания в теплые летне-весенние затопления и на достаточно слабозасолённом субстрате. Кроме того, в сообществе (над первым разрезом) из 16 видов растений 8 (50%) составляют растения солончаково-солонцового комплекса (*Halimione verrucifera* (Un), *Petrosimonia brachiata* (sp), *Salicornia perennans* (sp), *Suaeda linifolia* (cop1), *Limonium gmelinii* (sol), *Pseudosophora alopecuroides* (sp), *Tripolium pannonicum* (Un), *Aeluropus pungens* (cop2)), которые преимущественно имеют большее обилие, по сравнению с растениями незасоленных местообитаний. Это указывает на прогрессирующий процесс засоления этой территории. Таким образом, несмотря на возможные достаточные периодические заливания от паводков, особенно, характерные в прошлые годы, на что указывает практически незасоленная почвогрунтовая толща 2-го и 3-го метров, в настоящее время частоты и объема паводков не хватает, чтобы полностью прекратить процесс активного поверхностного засоления почв, при том, что процесс засоления постоянен, поскольку грунтовые воды в последние годы в течение годового цикла никогда не опускались на глубину ниже 4.0 м. При засолении почв на глубину более полуметра от поверхности начнется отмирание возобновления как кустарников, так и многолетних трав солончаково-солонцового комплекса.

Второй почвенный разрез (р. 2) первого ландшафтно-экологического профиля был заложен в понижении центральной поймы (второго пойменного уровня), он представлял собой гидроморфный типичный глинистый солончак исключительно сильно- и сильнозасолённый с поверхности – до 5.3% (по сухому остатку) на глубине 0-2 см и до 1.6% – на глубине 2-5 см (соответственно), имел средневзвешенное засоление по всему профилю 1.1% (1.14 % в первом метре и 0.97% во втором). УГВ в этом разрезе вскрывались на глубине 173 см. При этом с глубины 120 см уже отмечался постоянный зеленовато-голубовато-сизый грунтовый глеевый горизонт, который указывает на то, что УГВ в этом разрезе преимущественно имеет более высокое положение, нежели отмеченное в 2017 г. Кроме того, необходимо указать, что в отдельных генетических горизонтах на глубинах: 5-36 см, 50-61 см, 91-131 см наблюдалось частичное рассоление почвы с солончаковой сильной до средней степени засоления (0.51-0.97%), что, однако, не было сопряжено с изменением гранулометрического

[3] Солончаковая степень засоления почв принимается при величине сухого остатка от 1% и выше (прим. авт.).

[4] Определение засоления выполнено в лаборатории анализа почв ФНЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН и приводится по сухому остатку.

состава горизонтов, а, скорее всего, связано с частичным промыванием почв в результате периодических разных по длительности и величине зимних антропогенных затоплений в последние годы. При этом с глубиной (131-150 см), засоление все же возрастало до солончаковой степени (1.3%). Описываемая почва развивалась под луговым травяным ажреково-болотницево-ситниковым сообществом (рис. 2, В5; табл. 1, г/б описание № 5), рядом с которым, дальше от русла реки, располагалось ситниково-ажрековое с участием сарсазана сообщество, характерное для типичного сильнозасоленного солончака. Наличие в сообществе болотницы и ситника указывает на некоторые периоды небольшого рассоления поверхностных горизонтов почв, поскольку эти виды не характерны для типичных солончаков. При этом очевидно, что для данного участка УГВ в настоящее время не понижаются ниже 3 м и процесс поверхностного засоления активен постоянно.

Таким образом, рассмотрев почвенные разрезы и экосистемы второго ландшафтно-экологического профиля можно констатировать, что для экосистем второго пойменного уровня в настоящее время наблюдается активный процесс засоления почв и образование на месте второго пойменного уровня галофитных гидроморфных ландшафтов, в то время как экосистемы низкой поймы находятся в более-менее удовлетворительном состоянии. Экосистемы и ландшафты третьей пойменной террасы (ранее иногда заливаемой) и первой надпойменной террасы сегодня развиваются в зональном режиме и полностью вышли из-под влияния поёмного процесса.

Анализ оценки экосистем по степени нарушений (Кузьмина, Трешкин, 2017) показал, что большая часть экосистем первого профиля находятся в сильной (4-ой – предпоследней) степени нарушений (табл. 1) и только самые близкорасположенные к урезу воды экосистемы находятся в средней (3-ей) степени от гидрогенных нарушений, т.е. от нарушений в результате изменения обводненности территории при зарегулировании стока рек и климатических изменениях. Таким образом, восстановление экосистем и пойменных ландшафтов первого профиля уже требует мероприятий по изменению гидрологического режима реки.

*Второй ландшафтно-экологический профиль* расположен в характерных дельтовых условиях и отражает типичный ландшафт дельты реки Сырдарьи (рис. 3). На втором профиле были пробурены две скважины до УГВ – на вершине прируслового вала – на уровне верхней поймы (рис. 3, р. 3) УГВ=4.4 м и в межрусловом понижении на втором пойменном уровне (рис. 3, р. 4) УГВ=6.5 м, а также проведена георадарная съемка. Сразу необходимо отметить, что такое глубокое залегание УГВ для третьего и второго пойменных уровней не характерно и может говорить только о том, что этот профиль не ежегодно заливается паводковыми водами.

Почвенно-грунтовая толща разреза (скважины) № 3 (рис. 3, Б3) на третьем пойменном уровне представляла собой аллювиальный луговый суглинисто-глинистый солончак очень сильно засоленный с поверхности (на глубине 0-80 см – 3.3% ср. взвеш.) и сильнозасоленный до глубины 140 см (на 80-140 см – 1.8% ср. взвеш.). При этом засоление со 140 см до 200 см падало до средней степени (0.74% ср. взвеш.), а в третьем и четвертом метрах достигало только слабой степени засоления (по 0.32% ср. взвеш.). Тростниково-чингиловая (высота 90-120 см, проективное покрытие 70-90%) и софорово-солодковая (высота 60-75 см, пп. 65%) растительность, встреченная на прирусловом валу верхней поймы, в целом характерна для третьего пойменного уровня (рис. 3, В2, В3). Однако, следует отметить, что процесс поверхностного засоления прируслового вала проник достаточно глубоко от дневной поверхности и если он продолжится без промывания достаточным количеством паводковых вод, то растительность быстро деградирует до оголенного солончака.

Разрез (скважина) № 4 на втором пойменном уровне представлял собой аллювиальную луговую слоистую суглинисто-глинистую почву рассолённую с поверхности и солончаковозасолённую с глубиной (на глубине 320-640 см). Засоление плавно увеличивалось сверху вниз: в первом метре (0-100 см) – 0.36% (ср. взвеш.), во втором метре – 0.48%, в третьем – 0.74%, в четвертом – 0.97%, в пятом и шестом метрах толщи – по 1.16%. Наличие на этом участке клубнекамышево-тростниковой растительности (рис. 3, В6) указывает на достаточно частое заливание этого уровня поймы, что показывает нам и полностью рассолённые до трехметровой толщи почвогрунты. Тростниковая, пырейно-тростниковая, янтаково-тростниковая растительность второго уровня поймы расположенная вблизи участка бурения (рис. 3, В5, В6, В7, В8) также указывает на периодическое (хотя и не постоянное, т.к. встречается стелющаяся форма тростника) заливание второго пойменнного уровня второго ландшафтно-экологического профиля. Состояние экосистем второго профиля осложняется

очень глубоким залеганием УГВ, что может указывать на недостаточность поверхностного заливания в многолетнем аспекте.

Экосистемы, находящиеся на втором ландшафтно-экологическом профиле имеют в основном 3-ю степень гидрогенных нарушений и лишь отдельные экосистемы в понижениях второго пойменного уровня (дурнишниково-тростниковые и дурнишниковые, рис. 3, В9, В1) имеют 4-ю предпоследнюю степень гидрогенных нарушений, при которой восстановление экосистем требует изменения гидрологического режима реки.

Для экосистем нижней Сырдарьи в связи с увеличением зимних сбросов и образования обледенений и зажоров на первом и втором уровнях поймы возникает чрезвычайно опасная ситуация вымерзания лугового многолетнего травостоя в зимний период. После чего происходит зарастание образовавшихся территорий видами трав, имеющими плоды, способные противостоять промерзанию и вымоканию зимой, т.е. семян с плотной оболочкой. К сожалению, таких видов совсем немного, все они относятся к сорнотравью и, практически, не поедаются животными. Наибольшую активность на таких вымерзших участках в долине Сырдарьи проявляет дурнишник (*Xanthium albinum*; рис. 5) и куриное просо (*Echinochloa crus-galli*). Абсолютно сходная ситуация сложилась к настоящему времени в низовьях Волги в связи с увеличением зимних сбросов и вымерзанием лугового разнотравья (Кузьмина и др., 2015, 2018).

**Рис. 5.** Монодоминантная дурнишниковая экосистема, возникшая после длительных зимних сбросов, застаивания и замерзания воды, вследствие чего происходит вымерзание корневищ многолетних луговых трав типичных экосистем и образование однолетних сорнотравных ценозов на втором пойменном уровне р. Сырдарьи.

Таким образом, рассмотрев долинные экосистемы р. Сырдарьи по двум экологическим профилям можно выделить основные тенденции, характерные для пойменных экосистем и ландшафтов в современное время быстрых климатических и гидрологических изменений. В первую очередь стоит выделить основную тенденцию, характерную для большей части экосистем и ландшафтов второго пойменного уровня долины реки – гидроморфного солончакообразования, т.е. засоления пойменных территорий в условиях близкорасположенных грунтовых вод (<3 м). Такая тенденция стала возможна в новых условиях при увеличении общего объема стока и, особенно, в зимний период. Стоит отметить, что для предыдущего исторического периода (до 1990-х годов), который характеризовался общим маловодьем, летними паводками и зимней меженью, для второго уровня поймы наиболее типичной была тенденция резкого падения грунтовых вод (>3 м), отакыривания с возможным засолением только глубоких горизонтов почвогрунтов (Novikova et. al., 2001; Novikova, Kuz'mina, 2008).

Основной тенденцией в динамике экосистем в дельте Сырдарьи для межрусловых понижений (соответствующих второму пойменному уровню) сегодня является постепенное понижение УГВ при плавном увеличении засоления почвогрунтов с глубиной без одновременного сильного засоления верхних почвенных горизонтов. Эта тенденция связана с ежегодным сокращением времени и объема

весенне-летних затоплений и увеличением объема и времени зимних заливаний.

Следующей основной и наиболее распространенной тенденцией в нижнем течении Сырдарьи в настоящее время следует отметить полное обсыхание и поверхностное рассоление верхних пойменных и надпойменных террас. Ранее эти территории иногда заливались паводковыми водами, однако сейчас, в результате естественных (изменение гидрологического режима) и антропогенных (повсеместное возведение дамб, отграничивающих верхнюю пойму, которая в маловодный период была освоена человеком) причин третий пойменный уровень полностью вышел из-под влияния реки, а его ландшафты, как и территории надпойменных террас, стали развиваться по зональному типу, формируя пустынные экосистемы. Сравнивая ситуацию в прошлом и настоящем стоит указать, что подобная тенденция изменений в экосистемах и ландшафтах в связи с изъятием стока реки Сырдарьи на сельскохозяйственные нужды, существовала и ранее. Однако сейчас эта тенденция окрепла и распространилась окончательно в связи с тем, что весенне-летние паводки стали по объему в два раза меньше зимних, в то время как зимние сбросы существенно увеличились (рис. 4). А поскольку, в экосистемах, растительность играет эдификаторную роль, то существенное сокращение паводков в вегетационный период ведет к усилению и распространению опустынивания.

Одной из локальных тенденций в современной динамике экосистем низовьев Сырдарьи, пока не имеющих повсеместного распространения, и характерной только для понижений первого и второго пойменных уровней, является замещение типичных лугов, занятых многолетними травами, на нетипичные сорнотравные маловидовые или монодоминантные луга из однолетних трав. Такая тенденция возникла впервые и связана с увеличением зимних паводков антропогенного характера, которые по своему объему превышают летние. Зимние сбросы абсолютно нехарактерны для естественного гидрологического режима реки, приводят к ледяным заторам, промерзанию воды в понижениях на длительный период, а также вымерзанию и вымоканию многолетних пойменных травяных лугов. Несмотря на то, что пока эта тенденция имеет локальное распространение, увеличение объема зимних сбросов в дальнейшем может привести к распространению этой тенденции на все территории низкой и средней поймы.

Оценивая динамические изменения в экосистемах и ландшафтах долины р. Сырдарьи следует констатировать, что самый безопасный для них гидрологический режим реки – это наиболее приближенный к естественному, т.е. существовавшему до 1965 года.

## Выводы

1. В бассейне реки Сырдарьи происходят существенные климатические изменения естественного характера, которые приводят к увеличению аридизации климата и увеличению испарения с дневной поверхности, особенно в весенне-летне-осенний период.

2. В настоящее время в бассейне р. Сырдарья наблюдается увеличение ее расходов, что связано с естественными климатическими изменениями, и, прежде всего, с таянием ледников в результате потепления климата. Кроме того, общее изменение стока реки Сырдарьи сопровождается внутригодовым его перераспределением. Ранее отмечавшаяся естественная зимняя межень на реке, сегодня полностью заменена повышенными рукотворными сбросами в зимний период, что связано с необходимостью дополнительной выработки электроэнергии разными странами после распада СССР при полном зарегулировании стока в период до 1985 года (т.е. в период существования единого государства). Таким образом, в настоящий период река Сырдарья имеет изменения в режиме речного стока по сравнению с периодом до 1990 годов, связанные с естественными и антропогенными причинами. Изменения гидрологического режима реки Сырдарья, существенно влияют на динамику пойменных и дельтовых экосистем и ландшафтов в бассейне реки и, особенно, в ее низовьях.

3. Для типичной долины реки в низовьях Сырдарьи (внедельтовых территорий) основной тенденцией на втором пойменном уровне является гидроморфное солончакообразование, ранее не характерное для этих территорий, а распространенное только на орошаемых землях.

4. Основной тенденцией динамики экосистем дельты Сырдарьи является постепенное понижение УГВ при плавном повышении засоления почв с глубиной без сильного засоления верхних почвенных горизонтов. Эта тенденция характерна для наиболее распространенных по площади участков межрусловых понижений, соответствующих второму пойменному уровню.

5. Для третьего уровня поймы и первой надпойменной террасы основной повсеместно

распространенной тенденцией в динамике экосистем и ландшафтов, существенно распространившейся в настоящее время, является выход территорий из поёмного режима без усиления засоления почвогрунтов.

6. Новой локальной тенденцией в динамике экосистем, способной распространиться со временем, является замещение многолетнего типичного травостоя в связи с вымерзанием и вымоканием корневищ на однолетнее маловидовое или монодоминантное сорнотравье в понижениях первых и вторых уровней пойм в результате воздействия зимних сбросов в низовьях Сырдарьи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аральское море и Приаралье. 2017. / Ред. В.А. Духовный. Ташкент : Baktria press, 120 с.

*Боровский В.М.* 1953. Ландшафты дельты Сырдарьи // Вопросы географии. № 33. С. 222-248.

*Веселова П.В., Кудабаева Г.М., Муратова Н.Р., Дегтярева О.В.* 2017. Видовой состав залежей рисовых чеков Кызылординской области (Южный Казахстан) // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. Сборник научный статей по материалам XVI международной научно-практической конференции. Барнаул, 5-8 июня 2017 г. С. 5-8.

Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Техническое резюме. М.: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). 2014. 93 с.

*Димеева Л.А.* 2011. Отражение экосистемного разнообразия на картах среднего масштаба // Поволжский экологический журнал. № 3. С. 294-303.

*Духовный В.А.* 2015. Аральское море и Приаралье. Обобщение работ НИЦ МКВК по мониторингу состояния и анализу ситуации. Ташкент: Научно-информационный центр МКВК. 107 с.

*Кипшакбаев Н., Шуттер Ю., Духовный В.А., Мальковский И.М., Огарь Н.П., Хайбуллин А.С., Япрынцев В.В., Тучин А.И., Яхиева К.К.* 2010. Восстановление экологической системы в дельте Сырдарии и северной части Аральского моря. Алматы: «ЭВЕРО». 220 с.

*Куанышова С.Е., Сулейманова М.Т., Тажиева А.Д., Есенбекова А.Ш.* 2017. Биоразнообразие флоры поймы и дельты реки Сырдарьи // Наука и мир. Т. 2. № 4. С. 10-14.

*Кудеков Т.К., Никифорова Л.Н., Ли В.И., Попова В.П.* 2005. Анализ гидрологической ситуации, сложившейся в бассейне реки Сырдарья и предложения по её нормализации // Гидрометеорология и экология. № 2. С. 89-100.

*Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е.* 2018. Оценка степени трансформации наземных экосистем и ландшафтов при зарегулировании речного стока и климатических изменениях. Глава V/29 // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири (в пяти томах). Т. 5 «Планирование, управление и реабилитация ландшафтов» // Ред. В.Г. Сычёв, Л. Мюллер. М.: изд-во ФГБНУ «ВНИИ агрохимии». С. 136-141.

*Кузьмина Ж.В.* 2017. Динамические изменения экосистем и вопросы их оценки // Экосистемы: экология и динамика. Т. 1. № 1. С. 10-25. [Электронный ресурс http://www.ecosystemsdynamic.ru (дата обращения 12.03.2019)].

*Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е.* 2001. Современное состояние флоры и растительности заповедника «Бадай-Тугай» в связи с изменением гидрологического режима // Ботанический журнал. Т. 86. № 1. С.73-84.

*Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е.* 2014. Климатические изменения в бассейне Нижней Волги и их влияние на состояние экосистем // Аридные экосистемы. 2014. Т. 20. № 4 (61). С. 14-32. [*Kouzmina J.V., Treshkin S.E.* 2014. Climate Changes in the Basin of the Lower Volga and Their Influence on the Ecosystem // Arid Ecosystems. Vol. 4. No. 3. P. 142-157.]

*Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е.* 2017. Методика оценки нарушений в наземных экосистемах и ландшафтах в результате климатических и гидрологических изменений // Экосистемы: экология и динамика. Т. 1. № 3. С. 146-188 [Электронный ресурс http://www.ecosystemsdynamic.ru/stati/ (дата обращения 12.03.2019)].

*Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е.* 2016. Климатические изменения в Приаралье и Средней Азии // Аридные экосистемы. Том 22. № 4 (69). С. 5-20. [*Kuzmina Zh.V., Treshkin S.E.* 2016. Climate Changes in the Aral Sea Region and Central Asia // Arid Ecosystems. Vol. 6. No. 4. P. 227-240.]

*Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е.* 2012. Тугаи и возможности их восстановления в современный период // Аридные экосистемы. № 3 (52). С. 44-59. [*Kuz'mina Zh.V., Treshkin S.E.* 2012. Riparian Forests and the Possibility of Their Modern Restoration // Arid Ecosystems. Vol. 2. No. 3. P. 165-176.]

*Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е., Каримова Т.Ю.* 2015. Динамические изменения наземных экосистем поймы и дельты Нижней Волги под влиянием зарегулирования речного стока и климатических флуктуаций // Аридные экосистемы. Т. 21. № 4 (65). С. 39-53. [*Kuzmina Zh.V., Treshkin S.E., Karimova T.Yu.* 2015.

Effects of River Flow Regulation and Climate Fluctuations on Dynamic Changes in the Terrestrial Ecosystems of the Lower Volga Delta and Floodplain // Arid Ecosystems. Vol. 5. No. 4. P. 230-242.]

*Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е., Шинкаренко С.С.* 2018. Влияние зарегулирования речного стока и изменений климата на динамику наземных экосистем нижней волги // Аридные экосистемы. № 4 (77). С. 5-20. [*Kuzmina Zh.V., Treshkin S.E., Shinkarenko S.S.* 2018. Effects of River Control and Climate Changes on the Dynamics of the Terrestrial Ecosystems of the Lower Volga Region // Arid Ecosystems. Vol. 8. No. 4. P. 231-244.]

*Курочкина Л.Я.* 2015. Мониторинг и картографирование деградации растительных формаций в экосистемах аридного Приаралья // Аридные экосистемы. Т. 21. № 4. С. 5-21. [*Kurochkina L.Ya.* 2015. Monitoring and Mapping of Degradation of Vegetation Formations in the Ecosystems of arid Aral Sea Region // Arid Ecosystems. Vol. 5. No. 4. P. 201-215.]

*Огарь Н.П., Акназарова А.А.* 2007. Флора деревьев и кустарников казахстанского Приаралья // Известия НАН РК. Серия биологическая. № 4. С. 62-67.

*Попова В.П., Мусенова А.В.* 2010. Определение потерь стока по длине реки Сырдарья в пределах республики Казахстан // Гидрометеорология и экология. № 1. С. 100-108.

*Постников А.*Н. 2018. Об изменении испарения с суши и водной поверхности на территории России за последние десятилетия // Учёные записки РГГМУ. № 50. С. 88-96.

*Рулев А.С., Шинкаренко С.С., Кошелева О.Ю.* 2017 Оценка влияния гидрологического режима Волги на динамику затопления острова Сарпинский // Учёные записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. Т. 159. Кн. 1. С. 139-152.

*Сагаев А.А., Алибекова А.О., Менлихожаев Б.* 2015. Водные ресурсы на территории Кызылординской области // Молодой ученый. № 7 (1). С. 59-61.

*Самбаев Н.С.* 2017. Современное гидроэкологическое состояние нижнего течения реки Сырдарья и использование ее ресурсов стока // Астраханский вестник экологического образования № 2 (40). С. 50-55.

*Солодовников Д.А., Хаванская Н.М., Вишняков Н.В., Иванцова Е.А.* 2017. Методические основы геофизического мониторинга грунтовых вод речных пойм // Юг России: экология, развитие. № 12 (3). С. 106-114.

*Турсунов А.А., Жиенбаева Р.К.* 2004. Зимние паводки на реке Сырдарья и проблема защиты города Кызылорда // Гидрометеорология и экология. № 1. С. 42-51.

*Шинкаренко С.С., Солодовников Д.А.* 2018. Формирование новой дельты Сырдарьи // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 15. № 2. С. 193-196.

*Шонбаева Г.А., Шаянбекова, Б.Р., Балмаханов А.А., Наурызбаев Р.* 2015а. Анализ процессов размыва и заиления русла низовья реки Сырдарья // Наука и Мир. № 3. С. 97-99.

*Шонбаева Г.А., Шаянбекова Б.Р., Балмаханов А.А., Наурызбаев Р.* 2015б. Причины изменения гидрологического режима низовья реки. Сырдарьи и их последствия // Наука и Мир. № 3. С. 100-101.

*Novikova N.M., Kuz'mina J.V., Dikareva T.V., Trofimova T.U.* 2001. Preservation of the tugai biocomplex diversity within the Amu-Darya and Syr-Darya river deltas in aridization conditions // Ecological research and monitoring of the Aral Sea deltas. Book 2. UNESCO 2001. Pronting Sagraphic, Barcelona, Spain. P. 155-188.

*Novikova N.M., Kuz'mina Zh.V.* 2008. Monitoring of the vegetation in conditions of the Aral Sea ecological crisis. Moscow. 218 p.

*Savoskul O.S.* 2003. Water, climate, food, and environment in the Syr Darya Basin // Adaptation strategies to changing environments [Электронный ресурс http://www.weap21.org/downloads/adaptsyrdarya.pdf (дата обращения 15.04.2019)].

*Yao J., Chan Y.* 2015. Trend Analysis of temperature and precipitation in the Syr Darya Basin in Central Asia // Theoretical and Applied Climatology. Vol. 120. No. 3-4. P. 521-531.

*АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2019, том 25, № 4 (81), с. 30-41*

**СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

*УДК: 581.526: 528.94*

# ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ЛАНДШАФТОВ ПОЯСА СУБСРЕДИЗЕМНОМОРСКИХ ЛЕСОВ И РЕДКОЛЕСИЙ ПОЛУОСТРОВА АБРАУ (СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ КАВКАЗ)[1]

**© 2019 г. М.В. Бочарников, М.Н. Петрушина, Е.Г. Суслова**

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет*
*Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 1. E-mail: lena_susl@mail.ru*

Поступила в редакцию 08.04.2018. После доработки 12.05.2019. Принята к публикации 13.05.2019.

В статье охарактеризованы закономерности пространственной организации ландшафтов и растительного покрова на полуострове Абрау в пределах государственного природного заповедника «Утриш» и прилегающей к нему территории. Применение эколого-топологического профилирования и крупномасштабного картографирования растительности и ландшафтов позволило оценить пространственное разнообразие уникальных субсредиземноморских экосистем в зависимости от геолого-геоморфологических условий, в том числе высоты, экспозиции и крутизны склонов, особенностей климата и влияния моря. Специфика экологических условий, проявляющаяся на разных высотных уровнях, отражается на структуре фитоценотического разнообразия, что обуславливает формирование двух высотных подпоясов в составе приморского пояса, а также смену типологического состава лесных, редколесных и кустарниковых сообществ на разных уровнях фитокатен.

*Ключевые слова:* Субсредиземноморье, фитоценотическое разнообразие, карта растительности, ландшафты, полуостров Абрау.

**DOI: 10.24411/1993-3916-2019-10071**

Изучение и охрана биологического и ландшафтного разнообразия конкретных территорий как индикатора их состояния является актуальной проблемой при современной возрастающей антропогенной нагрузке и глобальном изменении климата. Особенно важны такие исследования в южных приморских горных районах, где наложение комплекса факторов обусловливает исключительную сложность пространственной организации флористического и фитоценотического разнообразия – одного из ключевых показателей региональной специфики горной территории, характеризующей закономерности формирования высотно-поясной структуры растительного покрова и ландшафтов в целом. К таким районам относится полуостров Абрау, который расположен в северо-западной части Черноморского побережья Кавказа и для которого типичны субсредиземноморские ландшафты с высоким биоразнообразием, имеющие ограниченное распространение в России.

Эти ландшафты с ксерофитными и гемиксерофитными формациями существуют в условиях небольших абсолютных высот хребтов (до 400-500 м н.у.м. БС) – отрогов Большого Кавказа, выраженного летнего минимума осадков и засушливого вегетационного периода. Они образуют нижний предгорный приморский высотный пояс (0-250(350) м н.у.м. БС), выше сменяющийся низкогорным поясом мезофитных широколиственных лесов ((250)350-500 м н.у.м. БС). Важнейшая роль в их флоре принадлежит средиземноморским видам, распространенным преимущественно в восточном Средиземноморье от Балкан до Иранского нагорья и находящихся в нашей стране у северо-восточных границ своего ареала (Малеев, 1940; Лавренко, Исаченко, 1976). Растительность этих ландшафтов, как наиболее физиономичный их компонент, всегда привлекала внимание исследователей (Гребенщиков и др., 1990; Петрушина, Суслова, 2007; Голуб и др., 2009, 2011; Литвинская, 2004). Однако планомерные и активные исследования современного состояния биоты и

[1] Работа выполнена при поддержке финансирования по Контракту с ГПЗ «Утриш» № 28-2018 – «Растительный покров, структура и динамика ландшафтов бассейна Водопадной щели Государственного природного заповедника «Утриш».

ландшафтов в целом, в том числе их картографирование начались после создания на полуострове Абрау в 2010 году Государственного природного заповедника «Утриш» (ГПЗ «Утриш»). В результате этих исследований были выявлены основные особенности пространственной организации растительности и ландшафтов (Огуреева, Быкова, 2013; Суслова, Рец, 2013; Бочарников, 2015; Petrushina, 2015; Иваненко, 2015; Огуреева, Бочарников, 2017; Петрушина, Мерекалова, 2017), флористического и фитоценотического разнообразия (Демина и др., 2015).

В ходе работ была отмечена сложность структуры растительности и ландшафтов, высокая степень ее неоднородности в условиях практически повсеместного нарушения в результате предыдущего антропогенного воздействия. Это требует проведения детальных исследований по выявлению пространственных закономерностей формирования растительного покрова в соответствии с ландшафтной структурой территории, выделения на разных пространственных уровнях гетерогенных структур, как правило, с орографией (фитокатены, экспозиционные сочетания фитокатен, склоновые комбинации, петрофитные серии). Кроме этого, создание кондиционных крупномасштабных карт является важной составной частью комплексных работ и надежной основой для научно-организационной, охранной, эколого-просветительской деятельности и мониторинга биологического разнообразия.

Основная цель проведенных исследований – выявление пространственных закономерностей формирования ландшафтного и фитоценотического разнообразия приморских ландшафтов гемиксерофитных субсредиземноморских лесов и редколесий полуострова Абрау.

## Материалы и методы

Для решения поставленной цели использовался комплекс методов, включающий полевые маршрутные описания, ландшафтное и геоботаническое картографирование и профилирование на модельных территориях в соответствии со стандартными методиками (Беручашвили, Жучкова, 1997). Модельные участки для картографирования выбирались на наиболее сложных по структуре территориях, выявленных в ходе рекогносцировочных маршрутов и анализа дистанционного материала. Опорные профили закладывались в характерных пересечениях хребтов и долин через склоны разной экспозиции, расположенные на разном удалении от моря от водоразделов до местных базисов эрозии, т.е. методом катен.

На точках комплексного описания, привязанных к местности по GPS-приемнику, фиксировались характеристики рельефа, почв, литологический состав пород, степень каменистости, фитоценотическая структура и полный видовой состав сообщества, включая сосудистые растения, наземные мхи и лишайники. Отмечались также редкие, охраняемые и требующие охраны виды растений (особое внимание уделено местам произрастания видов растений, включенных в Красную книгу Российской Федерации (2008)). Определялась роль данных видов в растительном покрове территории, характер их встречаемости. При описании также указывалась форма и степень антропогенной нагрузки. Описание лесных и редколесных фитоценозов проводились на площадках 400 м², открытых луговых и петрофитных сообществ – на площадках 100 м².

Для характеристики структуры растительности и ландшафтов приморского пояса были выбраны два основных модельных участка: район картографирования Базовой щели, типичной для южного макросклона Навагирского хребта, и район профилирования сейсмооползневого склона, расположенный в 350 м к северо-западу от озера Солёное между Лобановой и Навагирской щелями (рис. 1).

При создании крупномасштабной ландшафтной карты на территорию заповедника и карт растительного покрова на отдельные речные бассейны использовались цифровые модели рельефа и разносезонные снимки Landsat и снимки сверхвысокого разрешения геосервиса Yandex-снимки (Бочарников, 2015; Петрушина, Мерекалова, 2017). Классификация спектральных признаков многозонального космического снимка Landsat-8 (дата съемки 28.08.2013) с помощью метода максимального правдоподобия, а также морфометрические показатели, полученные на основе цифровой модели рельефа Aster GDEM (пространственное разрешение – 1´´), легли в основу создания крупномасштабной карты бассейна Базовой щели, фрагмент которой на приморский пояс представлен на рисунке 2.

Для пояса фисташково-можжевеловых и пушистодубовых лесов и редколесий получены данные о высотной приуроченности картографируемых единиц растительности, отраженных на карте. В

соответствии с типологией 35 выделенных единиц были объединены в 7 групп, включающих разнообразие субсредиземноморских гемиксерофитных лесов и редколесий, ксерофитных кустарниковых, петрофитных и галофитных сообществ, а также мезофитных широколиственных лесов. Для этих сообществ была определена занимаемая ими площадь в пределах 50-метровых отрезков по абсолютной высоте. Дополнительно выявлена приуроченность сообществ к разным формам рельефа (гребни и водоразделы хребтов, коренные склоны, приморские сейсмотектонические обвально-осыпные склоны, сейсмоложбины, днища щели, приморские пляжи и клифы), склонам разной крутизны и экспозиции, а также положению на разных уровнях фитокатен. Группы сообществ представлены как гомогенными единицами, так и гетерогенными структурами, связанными с орографией, отражающими специфику условий исследуемой территории. Их формирование связано с преобладающими процессами в условиях сложного орографического строения территории, и представлено фитокатенами, экспозиционными сочетаниями фитокатен, петрофитными сериями сообществ на склонах хребтов, а также галофитными группировками на каменистых пляжах. Сложность в растительный покров вносят восстановительные ряды сообществ, формирующиеся на месте рубок и гарей. В приморском поясе они представлены длительно производными кустарниковыми и травяно-кустарничковыми петрофитными сообществами шиблякового типа.

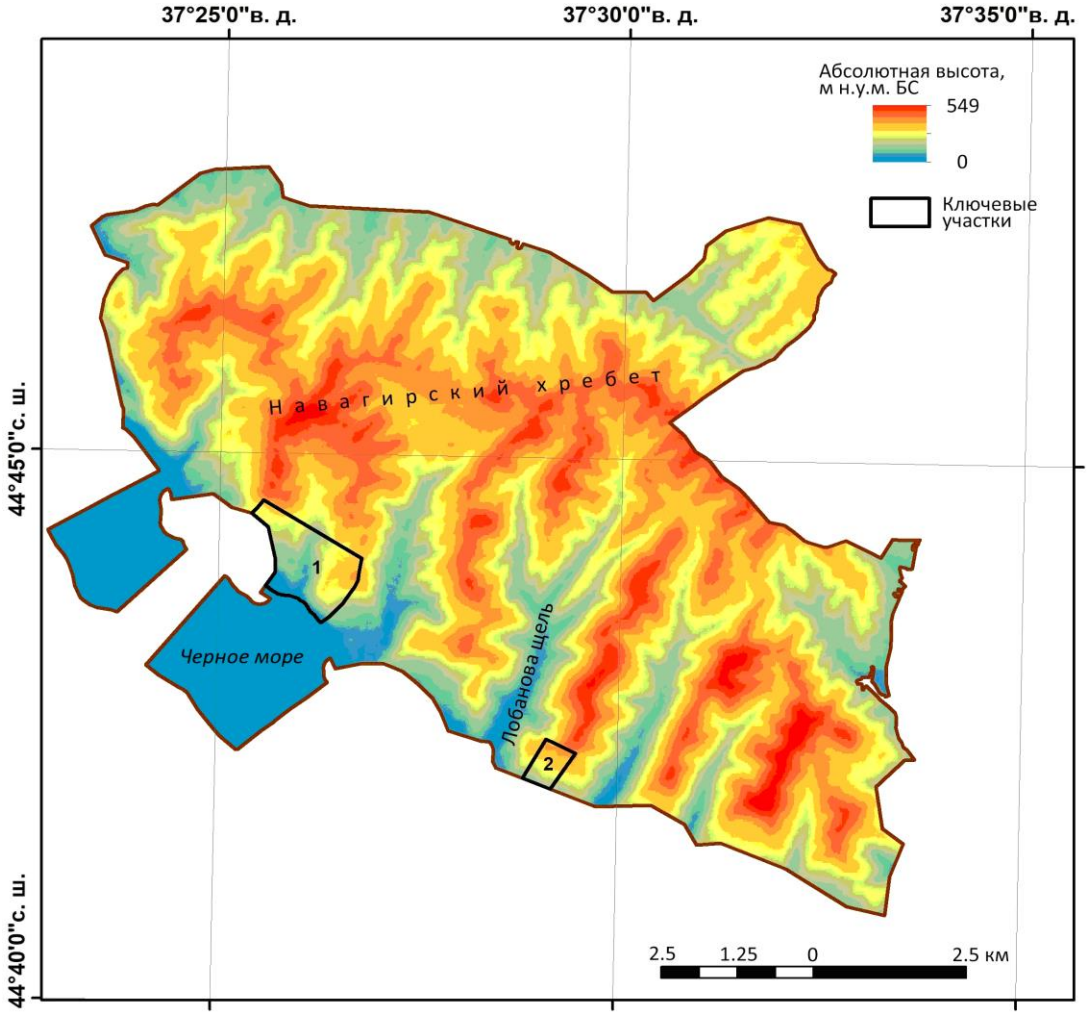



**Рис. 1.** Районы исследований на территории заповедника «Утриш». *Условные обозначения:* 1 – ключевой участок для крупномасштабного картографирования (приморский пояс в Базовой щели), 2 – ключевой участок для ландшафтно-геоботанического профилирования.

Анализ пространственной структуры фитоценотического разнообразия проведен на основе созданной карты растительного покрова в соответствии с опытом исследований его фитоценотического разнообразия и структурно-динамических особенностей в горах (Катенин, 1988;

Огуреева, 1994).

Картографический анализ выполнен в геоинформационной среде ArcGis (v. 10.0) с помощью инструментов приложения ArcToolbox.

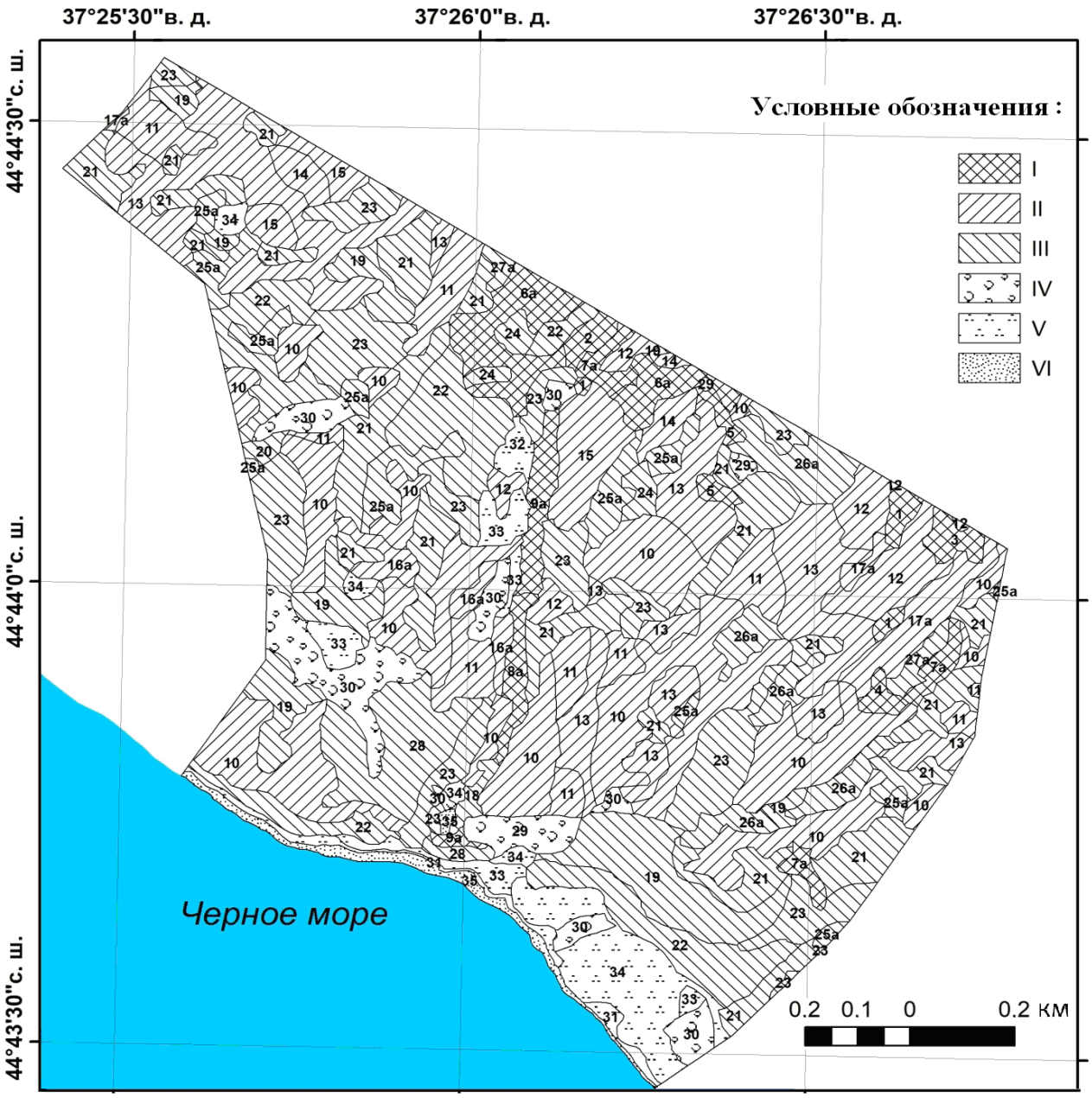



**Рис. 2.** Фрагмент карты растительности Базовой щели (масштаб 1:25000). *Условнвые обозначения:* Легенда к карте. I. Мезофитные широколиственные (*Quercus petraea, Carpinus betulus, Acer campestre, Ulmus glabra, Tilia begoniifolia*) леса и редколесья: 1 – грабово–скальнодубовые (*Quercus petraea, Carpinus betulus*) с буком (*Fagus orientalis*), ясенем (*Fraxinus excelsior*) мертвопокровные с участием *Veronica umbrosa, Viola dehnhardtii, Galium aparine, Lamium maculatum* леса в нижних частях крутых склонов и днище щели; 2 – вязово–кленово–грабовые (*Carpinus betulus, Acer campestre, Ulmus glabra*) с дубом скальным (*Quercus petraea*), ясенем кизиловые (*Cornus mas*) влажнотравные (*Geranium robertianum, Alliaria petiolata, Lamium maculatum*) леса в нижних частях крутых склонов и днище щели; 3 – грабинниково–липовые (*Tilia begoniifolia, Carpinus orientalis*) кизиловые мертвопокровные с участием *Veronica umbrosa, Viola dehnhardtii, Carex contigua* леса на склонах щели различных экспозиций; 4 – сосново–скальнодубовые и скальнодубово–сосновые (*Quercus petraea, Pinus kochiana*) мертвопокровные с участием петрофитов (*Dorycnium graecum, Pyrethrum poteriifolium,*

*Teucrium nuchense, Alyssum murale, Lamyra echinocaphala, Phleum hirsutum, Galium tenuissimum*) леса и редколесья на гребнях и в верхних частях щебнистых склонов хребтов верховий щели; 5 – грабово-скальнодубовые (*Quercus petraea, Carpinus betulus*) с сосной, грабинником петрофитноразнотравно (*Dorycnium graecum, Sedum caucasicum, Pyrethrum poteriifolium*)–злаковые (*Phleum hirsutum, Sesleria alba*) с зелеными мхами леса на каменистых склонах щели различных экспозиций; 6а – пушистодубово–грабинниковые (*Carpinus orientalis, Quercus pubescens*) с липой (*Tilia begoniifolia*), ясенем (*Fraxinus oxycarpus*) кизиловые злаково (*Piptatherum virescens, Brachypodium sylvaticum*) – вздутосемянниковые (*Physospermum cornubiense*) леса в нижних частях пологих склонов щели; 7а – дубово–грабинниковые (*Carpinus orientalis, Quercus pubescens, Q. petraea*) кизиловые мертвопокровные с участием *Dactylis glomerata, Carex contigua, Veronica umbrosa, Viola dehnhardtii* леса в нижних частях пологих склонов щели; 8а – дубово–грабинниковые (*Carpinus orientalis, Quercus pubescens, Q. petraea*) с вязом (*Ulmus glabra*), ясенем (*Fraxinus excelsior*), липой (*Tilia begoniifolia*) влажнотравные (*Lamium maculatum, Galium mollugo, Veronica umbrosa*) леса в днище и нижних частях склонов щели; 9а – ясеневые (*Fraxinus excelsior*) с кленом (*Acer campestre*), грабинником (*Carpinus orientalis*) влажнотравные (*Geum urbanum, Lamium maculatum, Urtica dioica*) леса в нижних частях склонов и днище щели. II. Гемиксерофитные широколиственные (*Quercus pubescens*) леса и редколесья: 10 – фисташково–можжевелово–пушистодубовые (*Quercus pubescens, Juniperus excelsa, J. oxycedrus, J. foetidissima, Pistacia mutica*) со скумпией (*Cotinus coggygria*), жасмином (*Jasminum fruticans*), жимолостью (*Lonicera etrusca*) петрофитноразнотравно (*Teucrium polium, Fumana procumbens, Fibigia eriocarpa*) – осоково (*Carex halleriana*)–злаковые (*Achnatherum bromoides, Stipa pontica, Agropyron pinifolium, Melica transsilvanica*) леса и редколесья на щебнистых освещенных склонах хребтов южной, восточной и западной экспозиций; 11 – фисташково–можжевелово–грабинниково-пушистодубовые с держи-деревом (*Paliurus spina-christi*), скумпией, жасмином петрофитноразнотравные (*Teucrium nuchense, Fibigia eriocarpa*) леса и редколесья на щебнистых освещенных склонах южной, восточной и западной экспозиций; 12 – можжевелово–грабинниково–пушистодубовые (*Juniperus oxycedrus*) с ясенем, с кизилом, рябиной (*Sorbus torminalis*), скумпией осоковые (*Carex cuspidata, C. digitata*) с плющом леса на склонах щели различных экспозиций; 13 – можжевелово–грабинниково–пушистодубовые (*Juniperus excelsa, J. oxycedrus*) с держи-деревом, скумпией, жасмином петрофитноразнотравно (*Teucrium nuchense, Veronica multifida, Asparagus verticillatus, Jurinea arachnoidea*)–чиевые (*Achnatherum bromoides*) леса и редколесья на щебнистых освещенных склонах южной, восточной и западной экспозиций; 14 – можжевелово–грабинниково–пушистодубовые (*Juniperus excelsa*) со скумпией, жасмином вздутосемянниково (*Physospermum cornubiense*) – ясенцовые (*Dictamnus caucasicus*) леса и редколесья на крутых освещенных склонах щели южной, восточной и западной экспозиций; 15 – можжевелово–грабинниково–пушистодубовые (*Juniperus excelsa, J. oxycedrus*) с ясенем (*Fraxinus oxycarpus*) кизиловые чиевые (*Achnatherum bromoides*) леса на щебнистых освещенных склонах щели южной, восточной и западной экспозиций; 16а – грабинниковые с дубом пушитстым, фисташкой иглицевые (*Ruscus pontica*) ясенцовые (*Dictamnus caucasicus*) леса и редколесья на щебнистых освещенных склонах хребтов южной, восточной и западной экспозиций; 17а – грабинниковые с дубом пушистым, можжевельником (*Juniperus excelsa*) жасминовые петрофитноразнотравно (*Teucrium nuchense, Campanula komarovii*)–осоково (*Carex halleriana*) – злаковые (*Achnatherum bromoides, Piptatherum virescens, Anisantha sterilis*) леса и редколесья на склонах хребтов различных экспозиций. III. Гемиксерофитные вечнозеленые и жестколистные (*Juniperus excelsa, J. oxycedrus, J. foetidissima, Pistacia mutica*) леса и редколесья: 18 – фисташковые жимолостно (*Lonicera etrusca*)–жасминовые петрофитноразнотравные (*Asparagus verticillatus, Linaria genistifolia, Bupleurum rotundifolium, Fibigia eriocarpa*) на крутых освещенных склонах хребтов южной, восточной и западной экспозиций; 19 – можжевеловые (*Juniperus excelsa, J. foetidissima*) скумпиево–жасминовые ясенцово (*Dictamnus caucasicus*)–осоково (*Carex halleriana*)–чиевые (*Achnatherum bromoides*) на освещенных склонах щели южной, восточной и западной экспозиций; 20 – можжевеловые (*Juniperus excelsa, J. oxycedrus, J. foetidissima*) скумпиево–жимолостно–жасминовые петрофитноразнотравные (*Cephalaria uralensis, Salvia ringens, Teucrium nuchense, T. polium, Fumana procumbens, Galatella linosyris*) редколесья на крутых щебнистых приморских освещенных склонах южной, восточной и западной экспозиций; 21 – фисташково-можжевеловые (*Juniperus excelsa, Pistacia mutica*) с держи-деревом, жасмином эфедровые (*Ephedra distachya*) петрофитноразнотравно (*Teucrium nuchense, Salvia ringens,*

*Centaurea declinata*)–злаковые (*Agropyron pinifolium, Stipa lessingiana*) редколесья на освещенных склонах хребтов южной, восточной и западной экспозиций; 22 – фисташково–можжевеловые с держи-деревом, жасмином иглицевые (*Ruscus pontica*) петрофитноразнотравно (*Asparagus verticillatus, Teucrium nuchense*)–злаковые (*Agropyron pinifolium, Achnatherum bromoides*) редколесья на щебнистых освещенных склонах южной, восточной и западной экспозиций; 23 – фисташково–можжевеловые (*Juniperus excelsa, J. oxycedrus, Pistacia mutica*) с держи-деревом и жасмином петрофитноразнотравно (*Salvia ringens, Teucrium polium, T. nuchense, Centaurea declinata*)–злаковые (*Agropyron pinifolium, Melica transsilvanica, Stipa pontica, Piptatherum holciforme, Achnatherum bromoides*) редколесья на крутых освещенных склонах хребтов южной, восточной и западной экспозиций; 24 – фисташково–можжевеловые с держи-деревом, жасмином петрофитноразнотравные (*Ligustrum vulgare, Onosma polyphillum, Alyssum obtusifolium, Asparagus verticillatus*) редколесья на крутых осыпных склонах хребтов; 25а – можжевелово–грабинниковые (*Carpinus orientalis, Juniperus excelsa*) с ясенем (*Fraxinus oxycarpus*) скумпиево-жасминовые злаковые (*Phleum hirsutum*) редколесья на крутых щебнистых освещенных склонах южной, восточной и западной экспозиций; 26а – можжевелово–грабинниковые жасминовые мертвопокровные с участием *Veronica umbrosa, Viola dehnhardtii* леса в нижних частях склонов щели; 27а – можжевелово–ясеневые (*Fraxinus oxycarpus, Juniperus excelsa*) кизиловые злаковые (*Dactylis glomerata, Piptatherum holciforme, P. virescens*) леса и редколесья на склонах щели различных экспозиций; 28 – можжевелово–пушистодубово–сосновые (*Pinus brutia, Quercus pubescens, Juniperus excelsa*) с фисташкой, грабинником иглицевые (*Ruscus pontica*) петрофитноразнотравно (*Teucrium nuchense, T. polium*)–злаковые (*Achnatherum bromoides, Piptatherum virescens*) леса и редколесья на приморских склонах. <u>IV. Ксерофитные кустарниковые</u> (*Cotinus coggygria, Jasminum fruticans, Rhus coriaria*) <u>серийные сообщества</u>: 29 – жасминово–скумпиево (*Cotinus coggygria, Jasminum fruticans*)–петрофитноразнотравно-злаковая (*Anisantha sterilis, Piptatherum holciforme, Alyssum obtusifolium, Bupleurum rotundifolium*) серия сообществ на крутых щебнистых склонах различных экспозиций; 30 – сумахово–скумпиевая (*Cotinus coggygria, Rhus coriaria*)–петрофитноразнотравная (*Alyssum murale, Bupleurum rotundifolium, Onosma polyphillum, Rumex hastifolius, Heracleum stevenii*) серия сообществ на крутых щебнистых склонах различных экспозиций. <u>V. Петрофитные травяно-кустарничковые</u> (*Stipa lessingiana, Agropyron pinifolium, Teucrium polium, T. nuchense, Thymus dimorphus, Convolvulus cantabrica, Salvia ringens, Lamyra echinocephala, Onosma polyphillum, Caucalis platycarpos*) <u>серийные сообщества:</u> 31 – злаково (*Stipa lessingiana, Agropyron pinifolium*)–петрофитноразнотравная (*Teucrium polium, T. nuchense, Thymus dimorphus, Convolvulus cantabrica, Helianthemum nummularium*) серия сообществ на водоразделах, верхних частях склонов хребтов; 32 – злаково (*Melica transsilvanica, Bothriochloa ischaemum*)–петрофитноразнотравная (*Salvia ringens, Teucrium polium, Thymus dimorphus*) серия сообществ на крутых осыпных склонах различных экспозиций; 33 – петрофитноразнотравная (*Salvia ringens, Lamyra echinocephala, Onosma polyphillum, Caucalis platycarpos, Geranium purpureum*) серия сообществ на крутых осыпных склонах щели различных экспозиций; 34 – петрофитноразнотравная (*Salvia ringens, Pimpinella tragium, Veronica filifolia, Linum tenuifolium, Centaurea declinata, Lamyra echinocephala, Fumana procumbens*) серия сообществ на крутых осыпных склонах различных экспозиций. <u>VI. Галофитноразнотравные</u> (*Salsola pontica, Glaucium flavum, Heliotropium ellipticum, Crambe maritima, Cynanchum acutum, Eryngium maritimum, Lactuca saligna*) <u>серийные сообщества</u>: 35 – галофитноразнотравные сообщества (*Salsola pontica, Glaucium flavum, Heliotropium ellipticum, Crambe maritima, Cynanchum acutum, Eryngium maritimum, Heliotropium ellipticum, Lactuca saligna*) на галечниковом пляже и клифах.

## Результаты и их обсуждение

*Крупномасштабное картографирование растительности.* Сложность пространственной организации растительности и ландшафтов полуострова Абрау в первую очередь связана с южным приморским положением (44-45 с.ш.) и высокой инсоляцией, предгорно-низкогорным сильно расчленённым рельефом, осложненным сейсмогравитационными формами и в меньшей степени с неоднородностью литологии пород (Петрушина, Мерекалова, 2017). Для исследуемой территории характерно развитие V-образных поперечных профилей речных долин (щелей) с гребневидными водоразделами, узкими поймами и слабо выраженными террасами, преобладание крутосклонных поверхностей с резкими перепадами высот и высокой активностью обвально-осыпных процессов,

моноклинально залегающих флишевых отложений. При недостаточном увлажнении в вегетационный период, типичном для района исследований, возрастает роль экспозиции, крутизны и затененности склонов, отрицательных форм рельефа, высоты местности как факторов дифференциации растительности. Достаточно хорошо выделяются геосистемы с повышенным увлажнением – склоны западных, северо-западных и юго-западных экспозиций, днища и нижние части склонов долин, понижения, в которых формируются более мезофильные варианты растительности, по сравнению с прилегающими территориями. Вблизи моря велико влияние морских ветров, способствующих формированию низкорослого древостоя.

Пояс ксерофитной и гемиксерофитной субсредиземноморской растительности на ключевом участке в Базовой щели формируется на удалении от моря не более 1 км, занимая абсолютные высоты до 200-250 м н.у.м. БС. В пределах пояса произрастают сообщества нескольких типов растительности с разнообразием формационного состава. Широкое распространение в различных экологических условиях получают гетерогенные структуры. Узкая полоса галечниковых пляжей занята крайне разреженными растительными группировками галофитной серийной растительности с преобладанием *Salsola pontica* (Pall.) Degen, *Crambe maritima* L., *Cynanchum acutum* L., *Glaucium flavum* Crantz. Проективное покрытие на стандартную геоботаническую площадь не превышает 1-5%. На приморских абразионных склонах, обрывах с большой крутизной, активными гравитационными и эрозионными процессами и высокой инсоляцией формируется серийная растительность. Травяно-кустарничковые петрофитные сообщества имеют проективное покрытие 20-30%. В их видовом составе преобладают стержнекорневые многолетние травы и полукустарнички. Высокой активностью отличаются *Salvia ringens* Sm., *Teucrium polium* L., *Onosma polyphillum* Ledeb., *Veronica filifolia* Lipsky, а также некоторые дерновинные злаки – *Festuca valesiaca* Schleich. ex Gaudin, *Agropyron pinifolium* Nevski, *Melica transsilvanica* Schur. Единично встречаются кустарники (*Cotinus coggygria* Scop., *Rhus coriaria* L.) и низкорослые экземпляры подроста можжевельников (*Juniperus excelsa* M. Bieb., *J. oxycedrus* L.). Наибольшее развитие получают петрофитные и злаково-петрофитные серии сообществ, развитие стадий которых происходит в связи с изменением крутизны склонов, а также в соответствии с гранулометрическим составом – чередованием крупно- и мелкощебнистых субстратов.

Широкое распространение в приморском поясе получают кустарниковые серии сообществ. Они образованы средиземноморско-переднеазиатскими видами кустарников (*Cotinus coggygria* Scop., *Rhus coriaria* L., *Paliurus spina-christi* Mill.), а также кустарниковой формой грабинника (*Carpinus orientalis* Mill.) формирующими более или менее сомкнутые заросли на освещенных склонах. Для сообществ характерно постоянное участие подроста можжевельников, изредка – фисташки (*Pistacia mutica* Fisch. & C.A. Mey.) и дуба пушистого (*Quercus pubescens* Willd.). Выделение кустарниковых серий связано с перераспределением условий по элементам рельефа – крутым и более пологим склонам. Участки с меньшей активностью эрозионных и осыпных процессов занимают кустарниковые заросли, достигающие высокой сомкнутости (до 0.9-1) и высоты 3 м.

Растительность фисташково-можжевеловых и пушистодубовых лесов и редколесий является фоновой для пояса. Флористическое и фитоценотическое разнообразие этих сообществ весьма велико. Видовой состав образован, преимущественно, средиземноморско-переднеазиатскими и южно-европейскими видами, велика доля эндемиков, в том числе Крымско-Новороссийских. Древостой, как правило, низкорослый (высота – до 10 м). Состав и выраженность ярусов в сообществах сильно зависит от степени сомкнутости древесного полога. Широко распространены петрофитные, петрофитно-дерновиннозлаковые редколесья. Сообщества тяготеют к освещенным приморским склонам с высокой теплообеспеченностью и бортам щелей, сейсмооползневым террасам с крупно- и мелко-щебнистым субстратом, которые иногда формируются в условиях интенсивных оползневых процессов. На теневых и полутеневых относительно пологих (крутизной до 10°) склонах, а также на осветлённых склонах с высотами 200-250 м н.у.м. БС встречаются ксеромезофитные сообщества можжевеловых и пушистодубовых злаковых (*Sesleria alba* Sm., *Dactylis glomerata* L.) и мертвопокровных с участием тенелюбивых видов (*Veronica umbrosa* M. Bieb., *Viola dehnhardtii* Ten.) сомкнутых лесов и редколесий.

В пределах приморского пояса структура растительного покрова формируется под влиянием комплекса факторов, что находит выражение в гетерогенных структурах растительности. Их развитие происходит на топологическом уровне и связано с перераспределением условий в соответствии с

рельефом и литологией пород. Оно выражено на микроуровне (серии сообществ, формирующиеся на каменистых коренных склонах хребтов, береговых клифах), и мезоуровне, где сообщества склонов щели образуют закономерные смены от верхнего к среднему и нижнему уровням фитокатен.

Приморский пояс, как часть высотно-поясной системы, характеризуется неоднородностью в структуре растительного покрова, которая изменяется в связи с удалением от моря, выраженностью морфоструктурных элементов горной территории и положением на разных уровнях склонов щелей. На разных высотных отметках с интервалом через 50 м фоновые типологические подразделения растительности и их гетерогенные сочетания характеризуются спецификой своей пространственной структуры, выявляемой через занимаемую ими площадь (рис. 3).

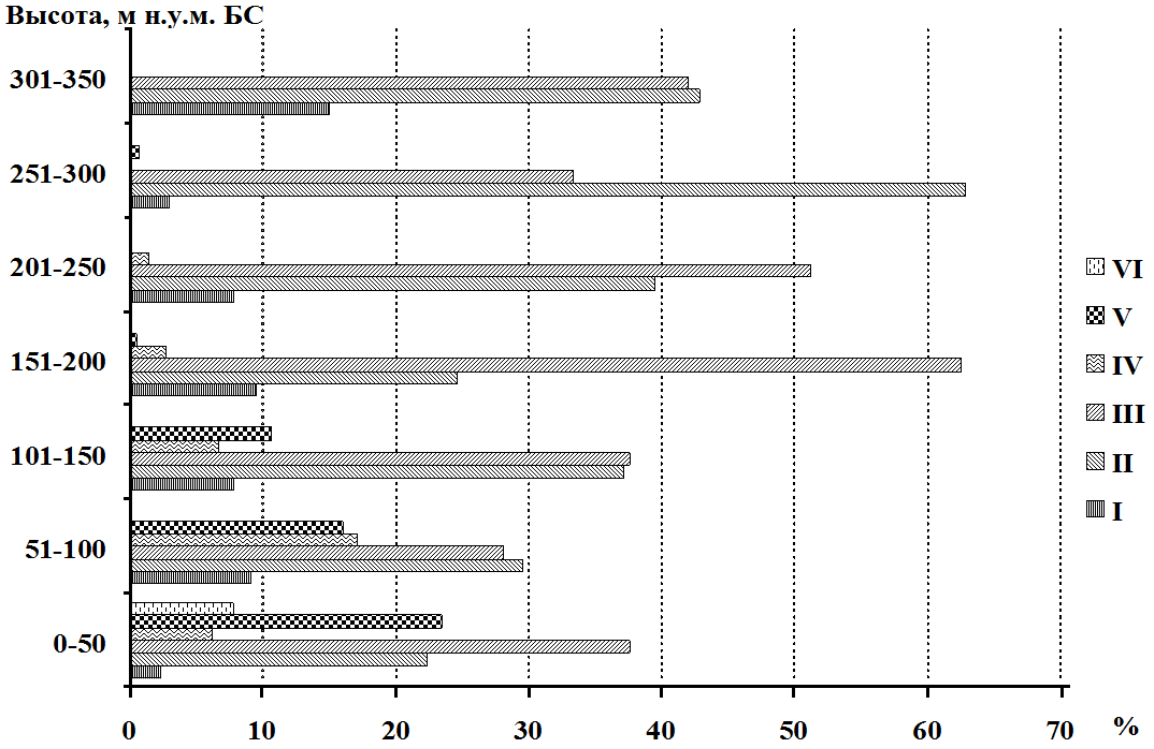



**Рис. 3.** Высотная приуроченность типологических подразделений растительности и их гетерогенных структур в Базовой щели (в соответствии с занимаемой площадью, %). *Условные обозначения к рисунку 3 и таблице:* I – мезофитные широколиственные (*Quercus petraea, Carpinus betulus, Acer campestre, Ulmus glabra, Tilia begoniifolia*) леса и редколесья, II – гемиксерофитные широколиственные (*Quercus pubescens*) леса и редколесья, III – гемиксерофитные вечнозеленые и жестколистные (*Juniperus excelsa, J. oxycedrus, J. foetidissima, Pistacia mutica*) леса и редколесья, IV – ксерофитные кустарниковые (*Cotinus coggygria, Jasminum fruticans, Rhus coriaria*) серийные сообщества, V – петрофитные травяно-кустарничковые (*Stipa lessingiana, Agropyron pinifolium, Teucrium polium, T. nuchense, Thymus dimorphus, Convolvulus cantabrica, Salvia ringens, Lamyra echinocephala, Onosma polyphillum, Caucalis platycarpos*) серийные сообщества, VI – галофитноразнотравные (*Salsola pontica, Glaucium flavum, Heliotropium ellipticum, Crambe maritima, Cynanchum acutum, Eryngium maritimum, Lactuca saligna*) серийные сообщества.

В целом в приморском поясе преобладают фисташково-можжевеловые и пушистодубовые с грабинником леса и редколесья (до 70-90% территории на каждом высотном уровне). Их наименьшая доля приходится на нижнюю часть пояса за счет активного развития на хорошо инсолируемых приморских склонах петрофитных травяно-кустарничковых и кустарниковых сообществ, а также группировок с участием галофитов, приуроченных только к прибрежной полосе и нижним частям приморских склонов. На высотах 150-250 м н.у.м. БС более половины площади приходится на фисташково-можжевеловые леса и редколесья с господством в сообществах *Juniperus excelsa*. Серийная петрофитная растительность здесь представлена небольшими фрагментами на крутых осыпных участках склонов. На высотах 250-350 м н.у.м. БС в приводораздельных частях склонов

щели формируется растительность с преобладанием пушистодубовых лесов (около половины площади участков). Мезофитные широколиственные леса участвуют в приморском поясе на всех высотных уровнях, но с небольшой долей. Полидоминантные вязово-кленово-липовые леса приурочены к узким днищам щелей. Их доля в структуре растительного покрова возрастает от нижнего высотного уровня к верхнему. Фрагменты ясенево-грабово-скальнодубовых лесов расположены в верхних частях склонов и на водоразделах.

Пространственная организация растительного покрова в пределах приморского пояса отражает комплекс экологических градиентов, связанных со сложным орографическим строением территории и его спецификой на разных высотных уровнях, находя отражение в структуре катен. Фоновое участие в поясе имеют фисташково-можжевеловые и пушистодубовые леса и редколесья, распространенные повсеместно практически от уровня моря до 300-350 м н.у.м. БС в разных частях фитокатен, формирующихся на коренных склонах щели (табл.). Фитокатены нижней части пояса характеризуются развитием субсредиземноморских формаций на всем их протяжении (за исключением узкого днища щели) и осложнены развитием петрофитных сообществ, в основном, в средней части крутых осыпных склонов, а также по всей поверхности обрывистых приморских склонов. Именно с нижним подпоясом связана значительная доля фитоценотического разнообразия ключевого участка и всего приморского пояса полуострова Абрау и наиболее мозаичная пространственная структура сообществ (Гребенщиков и др., 1990; Петрушина, Суслова, 2007). В средней части пояса (100-250 м н.у.м. БС) такая структура фитокатен сохраняется при более выраженном доминировании лесных и редколесных фисташково-можжевеловых сообществ. В верхней части пояса (250-350 м н.у.м. БС) основную роль играют пушистодубовые леса в транзитных частях склонов, а мезофитные широколиственные леса занимают днища и верхние приводораздельные склоны щели. Здесь не развиты петрофитные сообщества в связи с уменьшением крутизны склонов и ослаблением активности обвально-осыпных и эрозионных процессов.

**Таблица.** Высотная приуроченность типологических подразделений растительности и их гетерогенных структур в Базовой щели (в соответствии с занимаемой площадью, %).

| Растительность | Высота, м н.у.м. БС | | | | | | | Всего, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0-50 | 51-100 | 101-150 | 151-200 | 201-250 | 251-300 | 301-350 | |
| I | 3 | 14 | 20 | 21 | 21 | 9 | 11 | 100 |
| II | 6 | 8 | 17 | 10 | 19 | 35 | 6 | 100 |
| III | 9 | 7 | 16 | 23 | 23 | 17 | 5 | 100 |
| IV | 14 | 42 | 28 | 10 | 6 | 0 | 0 | 100 |
| V | 37 | 27 | 32 | 1 | 0 | 2 | 0 | 100 |
| VI | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 |

*Эколого-топологическое профилирование.* Важными элементами, усложняющими ландшафтную структуру приморского пояса, являются комплексы сейсмогравитационных форм рельефа – террас, гряд (тела оползней), ложбин, отделяющих последние от коренных склонов, представляющих стенки срыва разной крутизны. Эти комплексы образуют серию катен (рис. 4). Приморская катена представлена в самой низкой части морской террасой с фисташкой (*Pistacia mutica* Fisch. & C.A. Mey.), высота которой увеличивается вглубь суши от 0.5 до 3.5 м. Выше расположена пологонаклонная к морю терраса, перекрытая сейсмооползневыми отложениями с грабинниково-пушистодубово-ясеневым (*Fraxinus oxycarpa* Willd., *Quercus pubescens* Willd., *Carpinus orientalis* Mill.) с сомкнутым подлеском из кизила (*Cornus mas* L.) и ярусом иглицы (*Ruscus ponticus* Woronow ex Grossh.) лесом на среднекаменистой коричневой почве. Наибольшей контрастностью почв и растительности характеризуется сейсмооползневая гряда, крутой (до 30°) юго-восточный склон которой составляет следующее звено катены. Для него типично фисташково-можжевеловое (*Juniperus excelsa* M. Bieb., *Pistacia mutica* Fisch. & C.A. Mey.) жасминовое (*Jasminum fruticans* L.) редколесье на дерновой и фрагментарно развитой маломощной коричневой карбонатной почве. Сомкнутость крон здесь не превышает 0.3, высота древостоя – 4 м. На узкой вершинной поверхности гряды (относительная высота 30 м) и склоне северо-западной экспозиции, представляющих следующую катену,

формируется пушистодубово-грабинниковый с разреженным ярусом из кустарникового жасмина лес на коричневой типичной сильнощебнистой почве мощностью до 20-25 см.

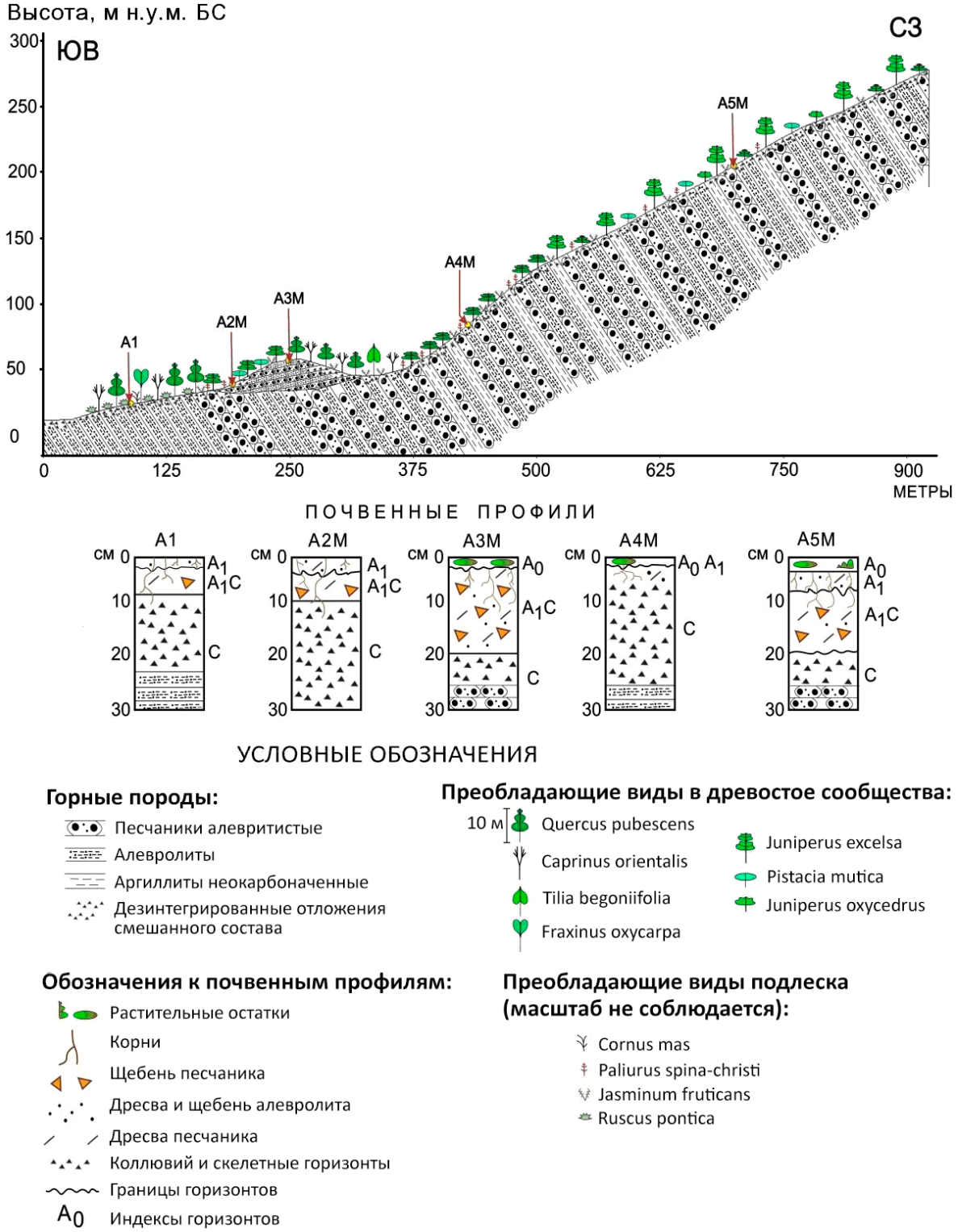



**Рис. 4.** Ландшафтно-геоботанический профиль через сейсмооползневой приморский склон.

Высота древостоя здесь увеличивается до 6-7 м, сомкнутость крон – до 0.5. В нижней части склона появляется ясень, в подлеске – кизил и иглица. В днище ложбины, отделяющей гряду от основного сейсмооползневого склона, выполненной коллювиально-делювиальными отложениями, в условиях лучшего увлажнения произрастает липово (*Tilia begoniifolia* Steven)–грабинниково–

пушистодубовый лес высотой до 13-14 м с сомкнутостью крон 0.6-0.7 на сильнокаменистой дерновой, местами намытой почве. В травостое преобладает лазурник (*Laser trilobum* (L.) Borkh.), ластовень (*Vincetoxicum scandens* Sommier et Levier). В нижней слабовыпуклой части юго-восточного основного склона хребта, сложенного флишем, в условиях активной денудации произрастают можжевеловые с фисташкой, с подлеском из держи-дерева (*Paliurus spina-christi*) и жасмина редколесья на фрагментарной коричневой почве мощностью до 20-22 см и литоземе. Высота древостоя здесь не превышает 4 м. Хорошо развит травяный ярус, представленный лентоостником (*Taeniatherum crinitum* (Schreb.) Nevski), костром (*Bromus japonicus* Thunb.), гайнальдией (*Dasypyrum villosum* (L.) P. Candargy), плевелом южным (*Lolium loliaceum* (Bory et Chaub.) Hand.-Mazz.), фибигией (*Fibigia eriocarpa* (DC.) Boiss.) и др. Местами встречается ковыль (*Stipa pulcherrima* K. Koch) и бородач (*Botriochloa ischaemum* (L.) Keng). На высотах 160-270 м н.у.м. БС формируются сообщества более сомкнутых можжевеловых (*Juniperus excelsa* M. Bieb., *J. oxycedrus* L.) редколесий высотой до 4.5 м. С повышением абсолютной высоты постепенно из древостоя исчезает фисташка, подлесок из держи-дерева и ярус из жасмина становятся менее выраженными. В целом для склона типична неоднородность почвенно-растительного покрова, связанная с его микроступенчатостью, различием в литологическом составе и разной активностью гравитационных процессов.

Развитию фоновых для пояса фисташково-можжевеловых редколесий способствуют крутые склоны, характеризующиеся высокой инсоляцией и сниженной влагообеспеченностью, а также высокая щебнистость почв. В целом, специфика смены сообществ по профилю соответствует закономерностям пространственной структуры растительности в лесостепных и степных поясах горных систем, где важную роль в перераспределении сообществ в соответствии с орографической структурой территории играет влагообеспеченность, что характерно для субаридных горных систем (Намзалов, 1994; Королюк, 2008). Специфика пространственной структуры приморского пояса полуострова Абрау заключается в повышенном разнообразии субсредиземноморских сообществ разных типов, образующих сложную мозаику в соответствии с неоднородностью литогенной основы в условиях недостаточного увлажнения предгорно-низкогорной территории.

## Заключение

В составе приморского пояса растительности на полуострове Абрау выделяется 2 высотных подпояса и 3 полосы. Нижний подпояс (0-250 м н.у.м. БС) характеризуется максимальным фитоценотическим разнообразием гемиксерофитной субсредиземноморской растительности 5 классов формаций. В его нижней полосе (0-150 м н.у.м. БС) наибольшее развитие получают гетерогенные структуры, представленные комбинациями лесов, редколесий, кустарниковых и травяно-кустарничковых петрофитных серий, а также галофитных группировок. В средней полосе (150-250 м н.у.м. БС) выражено преобладание лесных и редколесных фисташково-можжевеловых сообществ, занимающих более 60% площади. В верхнем подпоясе (250-350 м н.у.м. БС) доминирующая роль переходит к пушистодубовым лесам (более 50% площади), приуроченным, преимущественно, к транзитным частям склонов, тогда как верхние приводораздельные склоны заняты мезофитной растительностью широколиственных лесов (до 15% площади подпояса).

В пределах приморского пояса растительности для участка картографирования на территории ГПЗ «Утриш» выделено 35 типов растительных сообществ. На карте растительности нашли отражения мезофитные и гемиксерофитные широколистные леса и редколесья, гемиксерофитные вечнозеленые и жестколистные леса и редколесья, ксерофитные кустарниковые и петрофитно-кустарничковые серийные сообщества.

Катенарные закономерности в пространственной структуре растительного покрова приморского пояса проявляются в условиях преобладания сейсмогравитационных форм рельефа в соответствии с перераспределением показателей влагообеспеченности, отражаясь также на специфике развития почв на разных уровнях склонов. Наименее увлажненные экотопы на крутых сильно каменистых склонах заняты фисташково-можжевеловыми редколесьями в сочетании с кустарниковыми сообществами и петрофитными сериями. В условиях повышенного увлажнения более пологих склонов и ложбин формируются грабинниково-пушистодубовые леса.

В связи с трансформацией ландшафтов заповедника в результате длительного использования территории в хозяйственных целях еще до придания ему охранного статуса повышается его роль как полигона для изучения скорости и характера восстановительных сукцессий, а также фона для

мониторинга территорий со схожими природными условиями, но находящихся под антропогенным влиянием.

*Благодарности.* Авторы выражают искреннюю благодарность заместителю директора по научной работе ГПЗ «Утриш» О.Н Быхаловой и руководству Базы ИПЭЭ РАН за возможность работать на территории заповедника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Беручашвили Н.Л., Жучкова В.К.* 1997. Методы комплексных физико-географических исследований. М.: Издательство МГУ. 320 с.

*Бочарников М.В.* 2015. Пространственная организация растительного покрова Базовой щели и его крупномасштабное картографирование (заповедник Утриш) // Охрана биоты в государственном природном заповеднике Утриш. Научные труды. Т. 3. Анапа. С. 107-128.

*Голуб В.Н., Гречушкина Н.А., Сорокин А.Н., Николайчук Л.Ф.* 2009. Растительные сообщества на каменистых обнажениях северо-западной части Черноморского побережья Кавказа // Растительность России. № 14. С. 3-14.

*Голуб В.Н., Гречушкина Н.А., Сорокин А.Н., Николайчук Л.Ф.* 2011. Растительные сообщества класса *Onosmato polyphyllae–Ptilostemonetea* Korzhenevsky, 1990 на территории Черноморского побережья Кавказа и Крымского полуострова. № 17-18. С. 3-16.

*Гребенщиков О.С., Шанина А.А., Белановская Е.А.* 1990. Леса крайней западной части Большого Кавказа. М.: Наука. С. 63-83.

*Демина О.Н., Огуреева Г.Н., Рогаль Л.Л., Бочарников М.В., Дмитриев П.А.* 2015. Ценотическое разнообразие и синтаксономия ксерофитных хвойных лесов и редколесий в заповеднике Утриш // Охрана биоты в государственном природном заповеднике Утриш. Научные труды. Т. 3. Анапа. С. 80-106.

*Иваненко Ф.К.* 2015. Леса государственного природного заповедника «Утриш» // Охрана биоты в государственном природном заповеднике Утриш. Научные труды. Т. 3. Анапа. С. 62-79.

*Катенин А.Е.* 1988. Классификация неоднородных территориальных единиц растительного покрова на примере растительности тундровой зоны // Ботанический журнал. Т. 73. № 2. С. 186-197.

*Королюк А.Ю.* 2008. Модель сопки – метод анализа структуры растительного покрова // Растительность России. № 13. С. 117-122.

Красная книга Российской Федерации (Растения и грибы). 2008. М.: Тов. научн. изданий КМК. 855 с.

*Лавренко Е.М., Исаченко Т.И.* 1976. Зональное и провинциальное ботанико-географическое разделение Европейской части СССР // Известия Всесоюзного географического общества. № 6. С. 469-483.

*Литвинская С.А.* 2004. Растительность Черноморского побережья России (Средиземноморский анклав). Краснодар. 118 с.

*Малеев В.П.* 1940. Растительность причерноморских стран (Эвксинской провинции Средиземноморья), ее происхождение и связи // Труды Ботанического института им. В.Л. Комарова АН СССР. Серия 3. Геоботаника. Вып. 4. С. 135-249.

*Намзалов Б.Б.* 1994. Степи Южной Сибири. Новосибирск-Улан-Удэ: БНЦ СО РАН. 309 с.

*Огуреева Г.Н.* 1994. Структурно-динамические категории в растительном покрове горных территорий // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отделение биологическое. Т. 99. Вып. 2. С. 76-85.

*Огуреева Г.Н., Бочарников М.В.* 2017. Ботанико-географическая практика студентов-биогеографов на территории заповедника Утриш: содержание, структура, роль в учебном процессе // Наземные и прилегающие морские экосистемы полуострова Абрау: структура, биоразнообразие и охрана. Научные труды. Т. 4. С. 141-149.

*Огуреева Г.Н., Быкова П.А.* 2013. Ценотическое разнообразие растительного покрова северного макросклона хребта Навагир // Биоразнообразие Государственного природного заповедника «Утриш» / Ред. А.Г. Крохмаль, Г.Н. Огуреева. Научные труды. Т. 1. Анапа. С. 77-90.

*Петрушина М.Н., Мерекалова К.А.* 2017. Ландшафтные исследования в заповеднике «Утриш» // Наземные и прилегающие морские экосистемы полуострова Абрау: структура, биоразнообразие и охрана. Научные труды. Т. 4. С. 43-67.

*Петрушина М.Н., Суслова Е.Г.* 2007. Картографирование растительного покрова полуострова Абрау в окрестностях пос. Малый Утриш // Ландшафтное и биологическое разнообразие Северо-Западного Кавказа. М.: Географический факультет МГУ. С. 5-15.

*Суслова Е.Г., Рец Е.П.* 2013. Растительность полуострова Абрау и ее отображение на крупномасштабной геоботанической карте // Биоразнообразие государственного природного заповедника «Утриш». Научные труды. Т. 1. Анапа. С. 66-77.

*Petrushina M.* 2015. Landscape diversity and current state of landscapes of the nature reserve “Utrish” // Landscape and Landscape Ecology. Proceedings of the 17th International Symposium on Landscape Ecology, 27-29 May 2015 / Eds. Ľ. Halada, A. Bača, M. Boltižiar. Nitra, Slovakia, Institute of Landscape Ecology, Slovak Academy of Sciences Bratislava. P. 265-273.

*АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2019, том 25, № 4 (81), с. 42-51*

**СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

*УДК 631.41*

# СОСТОЯНИЕ ФИТОРАЗНООБРАЗИЯ ПИРОГЕННЫХ ФОРМАЦИЙ УСМАНСКОГО БОРА (ВОРОНЕЖСКАЯ ОБЛАСТЬ)[1]

**© 2019 г. А.Я. Григорьевская, Т.А. Девятова, Ю.С. Горбунова, Н.А. Сорокина**

*Воронежский государственный университет*
*Россия, 394036, г. Воронеж, Университетская пл., д. 1. E-mail: gorbunova.vsu@mail.ru*

Поступила в редакцию 08.10.2018. После доработки 06.03.2019. Принята к публикации 18.03.2019.

Приводятся результаты изучения формаций *Pinus sylvestris* и *Betula pendula* (51° 48’ 30.1’’ с.ш., 39° 23’ 58.4’’ в.д.) за 2015-2016 гг. после лесного пожара 2010 г. Их описание ведется с 2012 года. Методы анализа структуры растительного сообщества важны для познания их погодичного экологического состояния и выявления устойчивости растений к пирогенному фактору. На примере фоновой и пирогенной ассоциаций этих формаций даны сведения о начале восстановления структуры фитоценоза и флоры, смене доминантов в ярусах, увеличении проективного покрытия, формировании лесного фитоценоза. Отмечено снижение видового обилия и проективного покрытия у сорных растений. Современный список флоры насчитывает 84 вида из 75 родов, 33 семейств, 2-х отделов: Pinophyta и Magnoliophyta. Ведущими семействами являются *Poaceae* – 12 видов (14.1%), Asteraceae – 8 видов (9.4%), Fabaceae – 6 видов (7%). Малый спектр ведущих семейств с небольшим числом видов подтверждает большую нарушенность флоры пирогенным фактором. Доминирование корневищных растений – 42 вида (44.6%) и малое число дерновинных – 4 вида (4.8%) указывает на преимущество лесной фитоценотической группы. Наличие ксерофитной группы флоры – 15 (17.9%) дает суждение о повышенной освещенности и снижении увлажнения в формациях после пожара. Выявлено 8 геоэлементов и 14 типов ареалов. Европейский геоэлемент – 53 (63.1%) с 12 типами ареалов является преобладающим.

*Ключевые слова:* флора, формация, пирогенный и фоновый фитоценоз, ассоциация.
**DOI: 10.24411/1993-3916-2019-10072**

Исследования проводились в Усманском бору. Средние широты и значительная удаленность изучаемой территории от морей и океанов определяют умеренно-континентальный климат района. Территория характеризуется относительным дефицитом и неравномерным атмосферным увлажнением. Аридизации подвержены преобладающие песчаные почвы. А пирогенный фактор может выступать катализатором, приводящим к потере продуктивности, и негативно влиять на биоту, вызывая тем самым проблемы, связанные с уменьшением биоразнообразия, т.к. Усманский бор относится к району Левобережных песчаных террас рр. Дона, Воронежа и Битюга. Коренные породы перекрыты флювиогляциальными и древнеаллювиальными отложениями. Рельеф является полого-волнистой равниной, сформированной в древнем голоцене. Согласно геоботаническому районированию, бор относится к Усманскому району зеленомошных сосновых и осоковых дубовых лесов Боброво-Усманского округа Среднерусской дубово-сосновой провинции. Основными почвообразующими породами являются древнеаллювиальные отложения. Почвы представлены дерново-элювоземами глееватыми и глеевыми глинисто-иллювиированными (Горбунова, 2014; Девятова, 2014).

Лесной пожар – сильнейший фактор, изменивший структуру растительного сообщества и фиторазнообразия. Описание пирогенных и фоновых формаций *Pinus sylvestris* (51° 48’ 37.4” с.ш., 39° 23’ 42.6” в.д.; 51° 48’ 37.6” с.ш., 39° 23’ 42.6” в.д.) и *Betula pendula* (51° 48’ 30.1” с.ш.,

[1] Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта №13-05-97512 «Экологическая опасность инвазионной флоры антропогенно-трансформированных геосистем как причина создания Черной книги Воронежской области».

39° 23’ 58.4” в.д.; 51° 48’ 30.1” с.ш., 39° 23’ 58.8” в.д.) ведутся с 2012 года. Результаты исследований за 2012, 2014 гг. опубликованы в работах Ю.С. Горбуновой с соавторами (2014) и Т.А. Девятовой с соавторами (2014), а за 2015-2016 гг. приводятся в данной статье. Подробный анализ экобиоморфологической характеристики флоры дан в монографии Т.А. Девятовой с соавторами (2014).

*Новизна работы*. Впервые сообщается о начальной фазе восстановления фиторазнообразия хвойных и мелколиственных пирогенных формаций в условиях среднерусской лесостепи. Литературные сведения такого рода отсутствуют для данного региона, кроме краткого упоминания о пожаре 2010 г. в заповеднике «Галичья гора» Липецкой области (Скользнева, Недосекина, 2011). Такое суждение подтверждено аналитической оценкой экобиоморфологической характеристики флоры и структуры пирогенных формаций.

*Цель работы* – изучить и дать характеристику современному состоянию фиторазнообразия пирогенных формаций *Pinus sylvestris* и *Betula pendula*.

*Задачи исследования:* 1) отметить современное состояние и начало фазы восстановления фиторазнообразия пирогенных формаций *Pinus sylvestris* и *Betula pendula*; 2) дать экобиоморфологическую характеристику флоры изучаемых формаций за 2015-2016 гг.; 3) обосновать начальную фазу восстановления фиторазнообразия изучаемых пирогенных лесных формаций.

## Материалы и методы работы

Основными методами исследования стали: описательный, сравнительного анализа, статистический, компьютерных технологий с использованием программ Stadia и Microsoft Excel. Методика определения видового фиторазнообразия включала полевое обследование бора и березняка, расположенного в биоцентре «Веневитиново» Воронежской области. Для описания лесных формаций закладывалась пробная площадь размером 20×20 м$^2$, внутри которой описывалось по 10 учетных площадок размером 1×1 м$^2$. Было заложено за 2015-2016 гг. в двух пирогенных и двух фоновых формациях 4 пробных площади, внутри которых на 40 учетных площадках проводилось описание флоры. Ярусная структура и название растительных сообществ установлены по доминантному признаку. Учет обилия проведен по шкале О. Друде. Проективное покрытие (ПП) древесных пород определялось по степени сомкнутости крон с указанием для каждого вида. Для травянистых растений учитывалась проекция вида к заданной площади участка, обычно 1 м$^2$. Общее проективное покрытие (ОПП) указано для растительного сообщества, которое получено путем сложения проективного покрытия каждого вида с определением средней величины.

## Результаты и их обсуждение

В 2017 г. И.С. Зонн в связи с 40-летием Конференции ООН по опустыниванию и 20-летием вступления в силу Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием (КБО ООН) рассмотрел основные этапы развития международных усилий в области борьбы с опустыниванием и изменения парадигмы опустынивания. Он сделал вывод о необходимости расширения мандата КБО ООН за пределы узких географических рамок аридных и засушливых регионов (Зонн и др., 2017).

В 2017 г. в связи с иссушением почв В.Л. Убугунов описал состояние растительного и почвенного покровов в Баргузинской котловине, сложившихся в результате 3-летней засухи, приведшей к гибели естественных сосновых лесов и лесополос из сосны и тополя бальзамического. Он выявил основные причины гибели древесной растительности, а также почвенные условия, обеспечившие ее выживание при многолетней атмосферной засухе. Он также выявил негативный тренд развития лесостепей при аридизации климата Северного Прибайкалья (Убугунов и др., 2017).

А.М. Халид оценил таксономическое разнообразие растительных сообществ в аридном регионе Аравийского полуострова и их связь со свойствами почв. Он показал, как антропогенные факторы (обильная вырубка лесов, выпас и урбанизация) влияют на растительное разнообразие (Халид и др., 2017).

А.Н. Золотокрылин с соавторами в 2014 г. исследовал развитие увлажнения засушливых земель Европейской территории России во второй половине XX – первой трети XXI вв. Он выявил увеличение увлажнения территории в последние десятилетия XX в. Смена тенденции увлажнения произошла в начале XXI в. Модельные оценки будущего климата России, полученные по

ансамблю 31 МОЦАО проекта CMIP5 в период 2011-2030 гг., свидетельствуют о сохранении устойчивой отрицательной тенденции увлажнения (Золотокрылин и др., 2014). В 2016 г. рассмотрена динамика показателей увлажнения и биофизических параметров (данные MODIS) аридных пастбищ юго-востока Европейской части России от пятилетия к пятилетию в течение 2000-2014 гг. На территории Республики Калмыкия возникли предпосылки формирования новых очагов антропогенного опустынивания, зафиксированные количественным индикатором опустынивания (Золотокрылин и др., 2016).

А.И. Куликов установил, что в Байкальском регионе потепление происходит более высокими темпами, чем в России и мире. Потепление сопровождается такими экосистемными реакциями, как аридизация и опустынивание. Имея в виду тесноту связей, в том числе обратных, потепление (П), аридизация (А) и опустынивание (О) рассматриваются как единая система «ПАО» (Куликов и др., 2014).

Ю.С. Горбунова с соавторами впервые рассмотрела изменение состава, свойств почв и структуры растительного покрова в лесах Центрального Черноземья России после пожара 2010 г. В почвах установлено снижение содержания органического вещества и соединений щелочногидролизуемого азота на фоне увеличения содержания зольных элементов ($P_2O_5$, $K_2O$). Отмечена степень трансформации фиторазнообразия и развитие начальной стадии пирогенной сукцессии (Горбунова и др., 2014).

P.D. Ellair и W.J.J. Platt (2013) в полевом опыте в часто выгорающей сосновой (*Pinus palustris*) саванне, в нижнем ярусе которой произрастает кария (*Carya alba*), установили, что у стволов карии оставалось разное количество опавшей хвои сосны и листьев кари. Хвоя сосны повышала температуру горения и продолжительность нагревания по сравнению с травяным горючим материалом, что способствовало горению листьев кари. Это никак не влияло на показатели пожара в сравнении с травяным горючим материалом. Все выжившие после пожара карии возобновлялись порослью. В отсутствии хвои сосны у большинства деревьев кари поросль появлялась из почек, расположенных над землей вдоль ствола, при этом высота ствола, на которой появлялась поросль, была отрицательно связана с повышением температуры огня. При наличии хвои у карии появлялась только корневая поросль. Различия в местоположении поросли влияли на размеры стволов в конце вегетационного периода. Местная изменчивость горючего материала, образуемого пирогенными видами растений, может определять динамику других деревьев в ландшафте саванны США (Ellair, Platt, 2013).

A. Cesar и M. Sinatora в 2012 г. исследовали два участка серрадо: на первом каждые два года в августе проводили управляемые палы, второй участок за 14 лет не горел ни разу (контроль). Мониторинг цветения и плодоношения продолжался 22 месяца. Спустя два месяца после пала общая продуктивность цветочных почек, цветков и плодов была выше, чем в контроле. Однако относительная доля цветочных почек на обоих участках была одинаковой. Спустя год после пала на участке с палом не обнаружили соцветий, но в контроле продуктивность была выше, чем в предыдущий период. Деревьям *Qualea parviflora* требуется больше года, чтобы вернуться к нормальному циклу размножения (Cesar, Sinatora, 2012). Е.Ю. Максимова указывает, что для лесных экосистем характерны демутационные смены (сукцессии), вызванные, наряду с динамикой климата, воздействием природных, природно-антропогенных и антропогенных явлений. Параллельное изучение послепожарных сукцессий растительности и онтогенеза почв важно для разработки методов управления послепожарными ландшафтами и для понимания трендов регенерации почвенно-растительного покрова (Максимова, 2014).

Ежегодные описания флоры пирогенных и фоновых формаций *Pinus sylvestris* и *Betula pendula* позволили выявить не только их видовой состав, но и погодичные изменения (табл. 1; Горбунова, 2014; Девятова, 2014). Разногодичное изменение видовой насыщенности пирогенных и фоновых участков формаций *Pinus sylvestris* и *Betula pendula* с указанием числа видов проанализировано за 2015-2016 гг. Флора насчитывала 85 видов высших сосудистых растений. Дадим их экобиоморфологическую характеристику.

*Систематическая структура флоры* формаций *Pinus sylvestris* и *Betula pendula* Усманского бора показывает богатство таксонов, а соотношение семейств – ее зональное положение. В двух формациях числятся 85 видов из 75 родов, 33 семейств, 2-х отделов: Pinophyta и Magnoliophyta

(табл. 1). Основное ядро флоры составляют покрытосеменные растения – 84 вида (98.81% от общего числа видов), из голосеменных числится 1 вид (1.2%). Количественные показатели видовой насыщенности семейств отражают региональную специфику флоры. В одном семействе в среднем числится около 2.6 видов. Ведущими семействами являются *Poaceae* – 12 видов (14.1%), *Asteraceae* – 8 видов (9.4%), *Fabaceae* – 6 видов (7.1%). Малый спектр ведущих семейств с небольшим числом видов подтверждают большую нарушенность флоры пирогенным фактором, поэтому внешний вид или физиономические черты фитоценоза не имеют красочного аспекта. Показатели числа родов в семействе – это внутренняя сторона флоры. Семейство *Asteraceae* имеет 6 родов, *Poaceae* – 8, *Fabaceae* – 6, а другие – от 1 и более. Анализ систематической структуры флоры изученных формаций наглядно показывает высокую степень ее деградации.

**Таблица 1.** Многолетние изменения общего количества видов растений фоновых (Ф) и пирогенных (П) формаций *Pinus sylvestris* и *Betula pendula*.

| | **Формация *Pinus sylvestris*** | | | | | | | | **Формация *Betula pendula*** | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Год описания** | | | | | | | | | | | | | | | |
| | **2012** | | **2014** | | **2015** | | **2016** | | **2012** | | **2014** | | **2015** | | **2016** | |
| | Ф | П | Ф | П | Ф | П | Ф | П | Ф | П | Ф | П | Ф | П | Ф | П |
| Число видов | 19 | 8 | 38 | 24 | 42 | 17 | 29 | 11 | 15 | 13 | 24 | 14 | 33 | 13 | 35 | 18 |

*Жизненные формы* – это внешние признаки или облик растения. Они заложены в онтогенезе и сформированы условиями среды. Флора изучаемых формаций распределена между пятью жизненными формами с доминированием травяных многолетников – 56 видов (66.7%; табл. 2). Среди них доля короткокорневищных – 16 (19.1%), длиннокорневищных – 15 (17.9%), ползучекорневищных – 10 (11.9%), однолетних и двулетних – 12 (14.3%). Доминирование корневищных растений – 42 вида (44.6%) и малое число дерновинных – 4 вида (4.8%) указывает на доминирование лесных видов растений, сформированных в умеренно-континентальных условиях.

*Экологические типы* флоры установлены по фактору увлажнения. Она имеет мезофитный характер и доминирует мезофитная группа – 59 видов (70.2%; табл. 3). Однако ксерофитная группа флоры – 15 (17.9%) дает суждение о повышенной освещенности и снижении увлажнения в формациях по причине нарушенности пожаром структуры лесных фитоценозов.

*Эколого-морфологический анализ* флоры данных формаций дает характеристику экологических условий экотопов и адаптацию к ним растений путем образования жизненных форм и экологических типов (табл. 2, 4).

*Эколого-фитоценотическая структура* флоры отражает приуроченность каждого его элемента к экологической нише. Выделено 5 фитоценотических групп, среди которых доминирует лесная – 42 вида (50%), луговая – 12 (14.3%) и болотная – 2 (2.4%), приуроченные к почвам с повышенным увлажнением. Степная группа – 25 (29.8%) подчеркивает повышенную освещенность и уменьшение влажности после лесного пожара. Наличие в лесном фитоценозе степных элементов флоры – явление временное, и при его восстановлении они исчезают. Все эти характеристики подчеркивают нарушенность лесного фитоценоза.

*Географический анализ* флоры пирогенных формаций раскрывает познание их генезиса. Выявлено 8 геоэлементов и 14 типов ареала (табл. 5). Доминирующим геоэлементом является европейский – 53 (63.1%) с 12 типами ареалов. Представителями лесного элемента флоры этого ареала являются *Polygonatum odoratum*, *Convallaria majalis*, *Betonica officinalis* и т.д. Другие геоэлементы флоры хотя и являются маловидовыми, но отражают генетическую связь лесной флоры Центрального Черноземья России с флорой Крыма, Кавказа, Средней Азии и других регионов.

*Адвентивизация* флоры пирогенной формации Усманского бора – это результат антропогеогенеза (табл. 6). Флора имеет синантропный – 58 видов (69.1%) характер. Однако доля индигенофитов – 26 (30.9%), апофитов – 23 (27.4%), гемиапофитов – 24 (28.6%) сигнализирует о наличии природного ядра флоры. Адвентивных растений числится 7 (8.3%). Сократили видовое обилие *Erigeron canadensis*, *Galinsoga parviflora* по сравнению с 2012 г. Постоянно отмечается *Acer negundo*.

**Таблица 2.** Распределение видов растений пирогенных (П) и фоновых (Ф) формаций в Усманском бору по жизненным формам (в %).

| № п/п | Жизненные формы | Общая флора | Название растительных формаций | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Сосновая формация | | | | Березовая формация | | | |
| | | | 2015 г. | | 2016 г. | | 2015 г. | | 2016 г. | |
| | | | Ф | П | Ф | П | Ф | П | Ф | П |
| 1 | Древесные | 19.1 | 26.2 | 29.4 | 12.5 | 15.4 | 37.9 | 25.0 | 20.0 | 11.8 |
| 1.1 | Деревья | 10.7 | 14.3 | 11.7 | 9.4 | 15.4 | 6.9 | 16.7 | 11.4 | 11.8 |
| 1.2 | Кустарники | 8.3 | 11.9 | 17.6 | 3.1 | 0 | 17.2 | 8.3 | 8.6 | 0 |
| 2 | Травянистые | 80.9 | 73.8 | 70.6 | 87.5 | 84.6 | 62.1 | 75.0 | 80.0 | 88.2 |
| 2.1 | Однолетние | 11.9 | 7.14 | 5.9 | 15.6 | 7.7 | 13.8 | 25.0 | 11.4 | 17.6 |
| 2.2 | Двулетние | 2.4 | 0 | 0 | 6.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2.3 | Многолетние | 66.7 | 66.6 | 64.7 | 65.6 | 77 | 48.3 | 50.0 | 68.6 | 70.6 |
| 2.3.1 | Дерновинное | 4.8 | 4.8 | 11.8 | 3.1 | 77 | 10.3 | 16.7 | 8.6 | 11.8 |
| 2.3.2 | Короткокорневищное | 19.1 | 11.9 | 11.8 | 25.0 | 15.4 | 6.9 | 16.7 | 22.9 | 17.6 |
| 2.3.3 | Длиннокорневищное | 17.9 | 19.1 | 17.6 | 18.8 | 15.4 | 10.3 | 10.3 | 14.3 | 11.8 |
| 2.3.4 | Плотнодерновинное | 1.2 | 2.4 | 5.9 | 3.1 | 7.7 | 3.5 | 3.5 | 2.9 | 5.9 |
| 2.3.5 | Корнеотпрысковое | 2.4 | 2.4 | 0 | 0 | 0 | 3.5 | 3.5 | 2.9 | 5.9 |
| 2.3.6 | Стержнекорневое | 4.8 | 4.8 | 0 | 3.1 | 0 | 3.5 | 3.5 | 0 | 0 |
| 2.3.7 | Ползучекорневищное | 11.9 | 14.3 | 5.9 | 9.4 | 23.1 | 6.9 | 6.9 | 11.4 | 5.9 |
| 2.3.8 | Клубнекорневое | 2.4 | 4.8 | 11.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.9 | 5.9 |
| 2.3.9 | Кистекорневое | 1.2 | 2.4 | 0 | 3.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2.3.10 | Многоглавое корневище | 1.2 | 0 | 0 | 0 | 7.7 | 3.5 | 3.5 | 2.9 | 5.9 |

**Таблица 3.** Распределение видов растений пирогенных (П) и фоновых (Ф) формаций в Усманском бору по экологическим типам флоры (в %).

| № п/п | Название экологических типов флоры | Общая флора | Название растительных формаций | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Сосновая формация | | | | Березовая формация | | | |
| | | | 2015 г. | | 2016 г. | | 2015 г. | | 2016 г. | |
| | | | Ф | П | Ф | П | Ф | П | Ф | П |
| 1 | Ксерофитная группа | 17.9 | 14.3 | 23.5 | 21.9 | 23.1 | 20.7 | 16.7 | 22.9 | 35.3 |
| 1.1 | Мезоксерофиты | 9.5 | 7.1 | 5.9 | 12.5 | 7.7 | 6.9 | 8.3 | 8.6 | 17.7 |
| 1.2 | Ксерофиты | 8.3 | 7.1 | 17.6 | 9.4 | 15.4 | 13.8 | 8.3 | 14.3 | 17.7 |
| 2 | Мезофитная группа | 70.2 | 83.3 | 76.5 | 65.6 | 69.2 | 68.9 | 58.3 | 57.1 | 35.3 |
| 2.1 | Мезофиты | 48.8 | 69.1 | 64.7 | 43.7 | 38.5 | 55.2 | 33.3 | 31.4 | 23.5 |
| 2.2 | Ксеромезофиты | 21.4 | 14.3 | 11.7 | 21.9 | 30.8 | 13.8 | 25.0 | 25.7 | 11.8 |
| 3 | Гигрофитная группа | 11.9 | 2.4 | 0 | 12.5 | 7.7 | 10.3 | 25.0 | 20.0 | 29.4 |
| 3.1 | Мезогигрофиты | 10.7 | 2.4 | 0 | 12.5 | 7.7 | 10.3 | 16.7 | 17.1 | 23.5 |
| 3.2 | Гигрофиты | 1.19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8.3 | 2.9 | 5.9 |

Анализ экобиоморфологической структуры флоры изучаемых пирогенных формаций хвойного и мелколиственного лесов показал преобразования, которые испытывает биота после пожара в условиях умеренного климата Средней полосы Европы. Происходят изменения в структуре как флоры, так и растительных сообществ. Рассмотрим их на примере изучаемых формаций.

**Таблица 4.** Распределение видов растений пирогенных (П) и фоновых (Ф) формаций в Усманском бору по эколого-фитоценотическим группам флоры (в %).

| № п/п | Название эколого-фитоцетической группы и подгруппы | Общая флора | Название растительных формаций | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Сосновая формация | | | | Березовая формация | | | |
| | | | 2015 г. | | 2016 г. | | 2015 г. | | 2016 г. | |
| | | | Ф | П | Ф | П | Ф | П | Ф | П |
| 1 | Лесная | 50.0 | 62.0 | 76.5 | 56.2 | 46.1 | 58.6 | 41.7 | 45.7 | 53.0 |
| 1.1 | Лесная | 7.1 | 14.3 | 17.7 | 9.4 | 7.7 | 17.3 | 8.3 | 5.7 | 11.7 |
| 1.2 | Опушечно-лесная | 16.7 | 21.4 | 23.5 | 25.0 | 7.7 | 17.2 | 8.3 | 14.3 | 17.6 |
| 1.3 | Лугово-лесная | 7.1 | 9.5 | 11.7 | 0 | 7.7 | 10.3 | 8.3 | 5.7 | 0 |
| 1.4 | Опушечно-лугово-лесная | 7.1 | 2.4 | 5.9 | 15.6 | 7.7 | 0 | 0 | 5.7 | 0 |
| 1.5 | Опушечно-прибрежно-лесная | 2.4 | 4.8 | 5.9 | 0 | 0 | 3.5 | 0 | 0 | 0 |
| 1.6 | Прибрежно-лесная | 2.4 | 0 | 0 | 0 | 7.7 | 3.5 | 0 | 2.9 | 0 |
| 1.7 | Сорно-лесная | 2.4 | 4.8 | 0 | 3.1 | 7.7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1.8 | Прибрежно-лугово-лесная | 1.2 | 2.4 | 5.9 | 3.1 | 0 | 3.5 | 8.3 | 2.9 | 5.9 |
| 1.9 | Песчано-лесная | 1.2 | 2.4 | 5.9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.9 | 5.9 |
| 1.10 | Сорно-опушечно-лесная | 1.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.5 | 8.3 | 2.9 | 5.9 |
| 1.11 | Болотно-лесная | 1.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.9 | 5.9 |
| 2 | Степная | 29.8 | 23.8 | 17.6 | 28.1 | 38.5 | 27.6 | 25.0 | 25.7 | 17.7 |
| 2.1 | Опушечно-лесостепная | 3.6 | 0 | 0 | 3.1 | 15.4 | 0 | 8.3 | 5.7 | 0 |
| 2.2 | Лугово-степная | 2.4 | 2.4 | 5.9 | 6.2 | 0 | 3.5 | 0 | 0 | 0 |
| 2.3 | Степная | 6.0 | 4.8 | 11.8 | 6.2 | 7.7 | 10.0 | 8.3 | 5.7 | 5.9 |
| 2.4 | Сорно-лугово-степная | 2.4 | 4.8 | 0 | 0 | 0 | 3.5 | 0 | 0 | 0 |
| 2.5 | Лугово-лесостепная | 2.4 | 2.4 | 0 | 0 | 0 | 3.5 | 0 | 2.9 | 0 |
| 2.6 | Прибрежно-лугово-степная | 1.2 | 2.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2.7 | Опушечно-лугово-степная | 6.0 | 2.4 | 0 | 6.2 | 7.7 | 0 | 0 | 8.6 | 5.9 |
| 2.8 | Опушечно-степная | 2.4 | 4.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2.9 | Песчано-лесостепная | 1.2 | 0 | 0 | 3.1 | 0 | 3.5 | 0 | 2.9 | 5.9 |
| 2.10 | Сорно-прибрежно-лугово-степная | 1.2 | 0 | 0 | 0 | 7.7 | 3.5 | 8.3 | 0 | 0 |
| 2.11 | Лесостепная | 1.2 | 0 | 0 | 3.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | Луговая | 14.3 | 12.0 | 5.9 | 12.5 | 15.4 | 3.5 | 16.7 | 22.8 | 17.6 |
| 3.1 | Прибрежно-луговая | 1.2 | 0 | 0 | 0 | 7.7 | 0 | 8.3 | 2.9 | 0 |
| 3.2 | Прибрежно-опушечно-луговая | 2.4 | 0 | 0 | 3.1 | 0 | 0 | 0 | 5.7 | 5.9 |
| 3.3 | Опушечно-луговая | 7.1 | 9.5 | 5.9 | 9.4 | 7.7 | 0 | 8.3 | 8.6 | 5.9 |
| 3.4 | Сорно-опушечно-луговая | 1.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.7 | 0 |
| 3.5 | Прибрежно-болотно-луговая | 2.4 | 2.4 | 0 | 0 | 0 | 3.5 | 0 | 2.7 | 5.9 |
| 4 | Болотная | 2.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.5 | 16.6 | 5.7 | 11.8 |
| 4.1 | Опушечно-лугово-болотная | 1.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.5 | 8.3 | 2.9 | 5.9 |
| 4.2 | Прибрежно-лугово-болотная | 1.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8.3 | 2.9 | 5.9 |
| 5 | Сорная | 3.6 | 2.4 | 0 | 3.1 | 0 | 6.9 | 0 | 0 | 0 |

Согласно литературному обзору, восстановление фиторазнообразия в лесной зоне после лесного пожара идет быстрее, а в лесостепной зоне – медленнее. Результаты анализа описания фитоценоза в 2012 г. с повторным анализом в 2015-2016 гг. не отмечают заметных изменений в растительном покрове. Однако этот временный отрезок можно рассматривать как наметившуюся

подготовительную фазу к восстановлению структуры как флоры, так и сообщества.

*Формация Pinus sylvestris.* В пирогенной ассоциации *Pinus sylvestris–Erygeron canadensis* при описании в 2012 году первый ярус образовывала *Pinus sylvestris* с проективным покрытием до 25%[2], высотой деревьев до 30 м, с диаметром ствола 30-40-60 см. Подрост и подлесок отсутствовали. Инвазионный монокарпик *Erigeron canadensis* с ПП до 50% являлся доминантом и находился во втором ярусе. Всего насчитывалось 8 видов сосудистых растений из 8 родов, 8 семейств и 2 отделов. Почти одинаковый количественный показатель наличия видов и родов в пределах всех семейств не позволяют выделить ведущие среди них. Редко встречается *Chelidonium majus, Chamaenerion angustifolium, Calamagrostis epigeios*, а из лесной фитоценотической группы – *Polygonatum odoratum, Convallaria majalis.* Общее проективное покрытие ассоциации *Pinus sylvestris–Erygeron canadensis* составляет 75%.

**Таблица 5.** Распределение видов растений пирогенных (П) и фоновых (Ф) формаций в Усманском бору по типам ареалов (в %).

| № п/п | Геоэлементы и типы ареалов | Общая флора | Название растительных формаций | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Сосновая формация | | | | Березовая формация | | | |
| | | | 2015 г. | | 2016 г. | | 2015 г. | | 2016 г. | |
| | | | Ф | П | Ф | П | Ф | П | Ф | П |
| 1 | Евроазиатский | 22.6 | 26.2 | 35.3 | 28.1 | 23.1 | 20.7 | 8.3 | 20.0 | 23.5 |
| 2 | Европейский | 63.1 | 61.9 | 52.9 | 56.3 | 69.2 | 55.2 | 66.7 | 65.7 | 58.8 |
| 2.1 | Европейско-западноазиатский | 13.1 | 16.7 | 5.9 | 3.2 | 15.4 | 13.8 | 8.3 | 8.6 | 11.7 |
| 2.2 | Европейско-югозападноазиатский | 1.2 | 2.4 | 5.9 | 0 | 7.7 | 3.5 | 8.3 | 2.9 | 5.9 |
| 2.3 | Европейско-сибирский | 3.6 | 4.8 | 11.7 | 9.4 | 15.4 | 3.5 | 8.3 | 5.7 | 5.9 |
| 2.4 | Европейско-малоазиатский | 6.0 | 7.1 | 11.7 | 6.2 | 0 | 3.5 | 0 | 2.9 | 0 |
| 2.5 | Европейский | 11.9 | 14.3 | 17.7 | 6.2 | 15.4 | 13.8 | 16.7 | 14.3 | 11.7 |
| 2.6 | Европейско-азиатский | 9.5 | 9.5 | 0 | 9.4 | 0 | 3.5 | 8.3 | 8.6 | 11.8 |
| 2.7 | Восточноевропейско-западносибирский | 3.6 | 0 | 0 | 6.2 | 0 | 10.3 | 8.3 | 8.6 | 5.9 |
| 2.8 | Юго-восточноевропейский | 1.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.5 | 0 | 2.9 | 0 |
| 2.9 | Европейско-среднеазиатский | 3.6 | 2.4 | 0 | 6.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2.10 | Европейско-западносибирский | 4.8 | 2.4 | 0 | 6.2 | 7.7 | 0 | 8.3 | 5.7 | 0 |
| 2.11 | Восточноевропейский | 2.4 | 2.4 | 0 | 0 | 7.7 | 0 | 0 | 2.9 | 0 |
| 2.12 | Западно-европейско-азиатский | 2.4 | 0 | 0 | 3.1 | 0 | 0 | 0 | 2.9 | 5.9 |
| 3 | Североамериканский | 3.6 | 4.8 | 5.9 | 3.1 | 0 | 10.3 | 8.3 | 5.7 | 11.8 |
| 4 | Плюризональный | 2.4 | 0 | 0 | 3.1 | 0 | 6.9 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | Палеарктический | 2.4 | 0 | 0 | 3.1 | 0 | 3.5 | 8.3 | 5.7 | 5.9 |
| 6 | Бореальный | 3.6 | 2.4 | 5.9 | 6.2 | 7.7 | 3.5 | 8.3 | 2.9 | 0 |
| 6.1 | Евросибирский бореальный | 1.2 | 0 | 0 | 3.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6.2 | Циркумбореальный | 2.4 | 2.4 | 5.9 | 3.1 | 7.7 | 3.5 | 8.3 | 2.9 | 0 |
| 7 | Космополитический | 1.2 | 2.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | Сибирский | 1.2 | 2.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Описание этого же пирогенного растительного сообщества *Pinus sylvestris–Rumex acetosa–Erygeron canadensis* формации *Pinus sylvestris* в 2014 году констатировало смену доминантов и увеличение числа видов растений до 24. Доминант первого яруса *Pinus sylvestris* с ПП до 25% имеет высоту 28-30 м. Второй ярус образует *Rumex acetosa* – 12-15%, высотой до 50 см. Третий ярус

[2] Далее для видов приводится % без упоминания проективного покрытия (ПП).

составляет *Erygeron canadensis* – 8-10%. ОПП равно 55%.

**Таблица 6.** Распределение видов растений пирогенных (П) и фоновых (Ф) формаций в Усманском бору по антропотолерантным группам флоры.

| № п/п | Название антропотолерантных групп | Общая флора | Название растительных формаций | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Сосновая формация | | | | Березовая формация | | | |
| | | | 2015 г. | | 2016 г. | | 2015 г. | | 2016 г. | |
| | | | Ф | П | Ф | П | Ф | П | Ф | П |
| 1 | Индигенофиты | 30.9 | 45.2 | 52.9 | 28.1 | 53.8 | 34.5 | 33.3 | 34.3 | 47.1 |
| 2 | Синантропофиты | 69.1 | 54.8 | 47.1 | 71.9 | 46.2 | 65.5 | 66.7 | 65.7 | 52.9 |
| 2.1 | Апофиты | 27.4 | 19.1 | 17.6 | 31.3 | 23.1 | 13.8 | 16.7 | 28.6 | 29.4 |
| 2.2 | Гемиапофиты | 28.6 | 19.1 | 17.6 | 28.1 | 15.4 | 27.6 | 33.3 | 31.4 | 11.8 |
| 2.3 | Эвапофиты | 4.76 | 7.1 | 5.9 | 9.4 | 0 | 6.9 | 0 | 0 | 0 |
| 2.4 | Адвентивные | 8.33 | 9.5 | 5.9 | 3.1 | 7.7 | 17.2 | 16.7 | 5.7 | 11.7 |
| 2.4.1 | Агриофиты | 2.38 | 4.8 | 5.9 | 3.1 | 0 | 6.9 | 8.3 | 2.9 | 5.9 |
| 2.4.2 | Археофиты | 1.19 | 0 | 0 | 0 | 7.7 | 3.4 | 8.3 | 0 | 0 |
| 2.4.3 | Кенофиты | 4.76 | 4.8 | 0 | 0 | 0 | 6.9 | 0 | 2.9 | 5.9 |

В разреженном подлеске высотой до 4 м появились *Sorbus aucuparia* – 1.5%, *Chamaecytisus ruthenicus* – 1.2%. Сформировалась группа поликарпиков из злаков: *Calamagrostis epigeios* – 1.2%, *C. arundinacea* – 2%, *Poa angustifolia* – 1.5%, *P. annua* – 1.5%, *Festuca sulcata* – 1.2%, *Dactylis glomerata* – 1.4%, *Agrostis canina* – 1.5%. Одиночные особи *Pulsatilla patens* – 2% (вид из Красной книги Воронежской области (2011)), растут по всему участку. Формируется лесная фитоценотическая группа с участием *Poligonatum odoratum* – 1% и *P. multiflorum* – 1% и опушечно-лесная *Veronica incana* – 1%, *Verbascum nigrum* – 1%, *Campanula rotundifolia* – 1%. Небольшие куртины мхов из родов: *Brachythecium, Bryum, Thuidium, Tortula,* встречаются редко.

Лесной пожар не уничтожил корневую систему растений, но сильно ее нарушил. Спустя 4 года после пожара стали восстанавливаться некоторые лесные растения. Такое начальное усложнение структуры растительного покрова лесного фитоценоза пирогенной формации за счет корневого возобновления поликарпиков с учетом семенного запаса в почве можно считать подготовительным периодом восстановления лесной экосистемы.

Результаты описания ассоциации *Pinus sylvestris–Calamagrostis arundinacea* формации *Pinus sylvestris* за 2015-2016 гг. подтвердили продолжение динамики флоры и перестройку структуры растительного сообщества, что выразилось в замене доминантов ярусов фитоценоза, увеличения видового разнообразия (табл. 1).

В пирогенном *Pinus sylvestris–Calamagrostis arundinacea* фитоценозе первый ярус занимает *Pinus sylvestris* – 30%, высотой до 25м, с диаметром ствола 30-45 см. Доминант второго яруса *Calamagrostis arundinacea* – 15%, высотой 1.5 м. ОПП составляет 72% в 2015 г. и 75% в 2016 г. Видовая насыщенность за 2015 и 2016 гг. составляет соответственно 17 и 13 видов. Увеличилось число видов лесной фитоценотической группы, среди которых числятся *Carex digitata, Betonica officinalis, Fragaria vesca, Stellaria media, S. graminea, Melica nutans, Melampyrum nemorosum, Polygonatum officinale, P. multiflorum, Peucedanum oreoselinum.* Расширилась площадь распространения зеленых мхов. Наблюдается присутствие адвентивных и сорных растений, таких как: *Chenopodium album, Acer negundo, Erigeron canadensis*. Они не являлись доминантами и местами встречаются редко. На пробной площади размером 10×10 м$^2$ отмечено 14 видов растений, ОПП составляет 55%. Согласно нашим исследованиям флоры формации *Pinus sylvestris,* предполагаемый срок восстановления начинается через 5 лет после пожара.

*Формация Betula pendula.* В описании пирогенного фитоценоза *Erigeron canadensis–Rumex acetosa* за 2012 год отсутствовал древесный ярус с участием *Betula pendula.* Насчитывалось

73 обгорелых деревьев и 31 дерево в виде валежника. В травяном покрове *Erigeron canadensis* с ПП до 40% занимал первый ярус и далее, *Rumex acetosa* с 15% – второй ярус. Редко встречались *Agrostis canina* – 1%, *Festuca beckeri* – 1%, *Solidago virgaurea* – 1%, *Molinia caerulea* – 1.5%, *Calamagrostis arundinacea* – 4.5%. На пробной площади 10×10 м$^2$ отмечено 14 видов растений, ОПП равно 55%.

Геоботаническое описание ассоциации *Betula pendula*±*Variiherbitas* в 2014 году установило усложнение морфологической структуры сообщества, выраженное в наличии ярусов, доминантов. Первый ярус занимает *Betula pendula* с ПП 27% и высотой 5-6 м. Второй ярус образует разнотравье с ПП до 12% и средней высотой 0.6 м. ОПП – 60%. Появились такие виды растений, как *Campanula patula* с ПП 1% и далее, *Centaurea marschalliana* – 1.5%, *Pulsatilla patens* – 1.5%, *Veronica incana* – 2%, *Steris viscaria* – 1%, *Agrostis alba* – 1%, *Dactylis glomerata* – 1%, *Elymus repens* – 1%. Произошла смена роли в сообществе адвентивного вида *Erigeron canadensis* с уменьшением ПП до 8% и отсутствием доминантного положения.

Описанием пирогенного фитоценоза *Betula pendula–Calamagrostis arundinacea* за 2015 и 2016 гг. отмечена двухъярусная структура, наличие 13 видов в 2015 г. и 18 видов в 2016 г., сокращение числа сорных растений и увеличение индигенофитов. Появились лесные виды растений, характерные для данного типа растительности. Первый ярус занимает *Betula pendula* – 30%, высотой до 8 м. Второй ярус представлен *Calamagrostis arundinacea* – 12%. ОПП равно 63%.

Формация *Betula pendula* имеет сильную степень трансформации фиторазнообразия, что подтверждается малыми показателями видового обилия (sp, sol, un), видовой насыщенности, упрощением структуры сформированного лесного фитоценоза, активным внедрением инвазионных растений, таких как *Erigeron canadensis* и пирогенных – *Chamaenerion angustifolium*.

Наметившаяся начальная фаза восстановления флоры пирогенного участка березовой формации характеризуется увеличением видовой насыщенности и на карте отмечено 18 видов вместо 13, как в 2012 г.

В разреженном подлеске до 4 м высотой чаще других встречается *Sorbus aucuparia*. Уменьшилось видовое обилие *Erigeron canadensis*, хотя он остается в числе видов с ПП до 8%. Появившийся *Rumex acetosella* имеет ПП 12-15%, а *Calamagrostis epigeios* и *C. arundinacea* – до 30%. Из злаков в хорошем фитоценотическом состоянии находятся *Poa angustifolia*, *P. annua*, *Festuca beckeri*. Вид из Красной книги Воронежской области (2011) *Pulsatilla patens* с ПП 5-7 % встречается по всему участку.

## Выводы

Погодичное изменение флоры в пирогенных формациях позволило установить начальную фазу формирования лесного фитоценотипа, что явилось показателем их восстановления.

В качестве индикационных признаков взято изменение видового состава флоры, замена доминантов, увеличение видового разнообразия, формирование структуры лесной формации, что указывает на начальную фазу восстановления экосистемы леса, которая проявляется через 5 лет после пожара.

Методы анализа структуры растительного сообщества важны для познания их погодичного экологического состояния и выявления устойчивости растений к пирогенному фактору.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Горбунова Ю.С.* 2014. Динамика флоры пирогенного и фонового участков бора биоцентра ВГУ «Веневитиново» // Современные проблемы особо охраняемых природных территорий регионального значения и пути их решения / Ред. Ю.С. Горбунова, А.Я. Григорьевская, Т.А. Девятова, М.М. Ключникова Воронеж. С. 68-75.

*Горбунова Ю.С., Девятова Т.А., Григорьевская А.Я.* 2014. Влияние пожара на почвенный и растительный покров лесов Центрального Черноземья России // Аридные экосистемы. Т. 20. № 4. С. 76-85. [*Gorbunova J.S., Devyatova T.A., Grigoryevskaya A.Ya.* 2014. Fire Influence on the Soil and Plant Cover of Forests in the Central Chernozem Region of Russia // Arid Ecosystems. Vol. 4. No. 4. P. 285-293.]

*Григорьевская А.Я., Стародубцева Е.А., Хлызова Н.Ю., Агафонов В.А.* 2004. Адвентивная флора Воронежской области: исторический, биогеографический, экологический аспекты. Воронеж: Изд-во ВГУ. 320 с.

*Девятова Т.А., Горбунова Ю.С., Григорьевская А.Я.* 2014. Современная эволюция почв и флоры лесостепи Русской равнины после лесных пожаров. Воронеж: Научная книга. 259 с.

*Димеева Л.А.* 2011. Закономерности первичных сукцессий Каспийского побережья // Аридные экосистемы. Т. 17. № 3. С. 49-63. [*Dimeyeva L.A.* 2011. Mechanisms of Primary Successions on the Caspian Sea Coast // Arid

Ecosystems. Vol. 1. No. 3. P. 50-63.]

*Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б., Черенкова Е.А., Виноградова В.В.* 2014. Увлажнение засушливых земель Европейской территории России: настоящее и будущее // Аридные экосистемы. Т. 20. № 2. С. 5-11. [*Zolotokrylin A.N., Titkova T.B., Cherenkova E.A.* 2014. Humidification of drylands in European Russia: The present and future. // Arid Ecosystems. Vol. 4. No. 2. P. 49-54.]

*Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б., Черенкова Е.А., Виноградова В.В.* 2016. Динамика летнего увлажнения и биофизических параметров аридных пастбищ Европейской части России в 2000-2014 гг. // Аридные экосистемы. Т. 22. № 1. С. 5-10. [*Zolotokrylin A.N., Titkova T.B., Cherenkova E.A., Vinogradova V.V.* 2016. Dynamics of Summer Moistening and Biophysical Parameters of Arid Pastures in the European Part of Russia in 2000-2014 // Arid Ecosystems. Vol. 6. No. 1. P. 1-7.]

*Зонн И.С., Куст Г.С., Андреева О.В.* 2017. Парадигма опустынивания: 40 лет развития и глобальных действий // Аридные экосистемы. Т. 23. № 3. С. 3-16. [*Zonn I.S., Kust G.S., Andreeva O.V.* 2017. Desertification Paradigm: 40 Years of Development and Global Efforts // Arid Ecosystems. Vol. 7. No. 3. P. 131-141.]

Красная Книга Воронежской области. 2011. Том. 1. Растения. Лишайники. Грибы / Ред. В.А. Агафонов. Воронеж: Изд-во НПО «Модэк». 473 с.

*Куликов А.И., Убугунов Л.Л., Мангатаев А.Ц.* 2014. О глобальном изменении климата и его экосистемных следствиях // Аридные экосистемы. Т. 20. № 3. С. 5-13. [*Kulikov A.I., Ubugunov L.L., Mangataev A.Ts.* 2014. Global Climate Change and its Impact on Ecosystems // Arid Ecosystems. Vol. 4. No. 3. P. 135-141.]

*Максимова Е.Ю., Цибарт А.С., Абакумов Е.В.* 2014. Свойства почв Тольяттинского соснового бора после катастрофических пожаров 2010 г. // Почвоведение. № 9. С. 1131-1144.

*Скользнева Л.Н., Недосекина Т.В.* 2011. Влияние пожара 2010 года на состояние редких видов растений в урочище Морозова гора // Редкие виды грибов, растений и животных Липецкой области: Информационный сборник материалов. Вып. 4. Воронеж: Научная книга. 204 с.

*Убугунов В.Л., Гунин П.Д., Бажа С.Н., Дробышев Ю.И., Убугунова В.И.* 2017. Иссушение почв как показатель опустынивания лесостепных экосистем Баргузинской котловины // Аридные экосистемы. Т. 23. № 3. С. 17-31. [*Ubugunov V.L., Gunin P.D., Bazha S.N., Drobyshev Yu.I., Ubugunova V.I.* 2017. Soil Desiccation as Indicator of Desertification of Forest-Steppe Ecosystems in the Barguzin Depression // Arid Ecosystems. Vol. 7. No. 3. P. 142-154.]

*Халид А.М.* 2017. Воздействие параметров окружающей среды на таксономическое разнообразие видов растений в аридном регионе Табука // Аридные экосистемы. Т. 23. № 4. С. 69-77. [*Khalid A.A.-M.* 2017. Effect of Environmental Conditions on the Taxonomic Diversity of Plant Species in the Arid Region of Tabuk // Arid Ecosystems. Vol. 7. No. 4. P. 271-276.]

*Cesar P.A., M.H. Sinatora.* Efeito do fogo na producao de frutos de Qualea parviflora Mart. (Vochysiaceae) em cerrado sensu structo // Revista Árvore. Vol. 36. No. 4. C. 685-693.

*Ellair D.P., Platt W.J.J.* 2013. Fuel composition influences fire characteristics and understorey hardwoods in pine savanna // Journal of Ecology. Vol. 101. No. 1. P. 192-201.

*АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2019, том 25, № 4 (81), с. 52-60*

**СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

*УДК 581.5: 528.94*

# ИЗМЕНЕНИЕ БОТАНИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ РАЗНОТРАВНО-ДЕРНОВИННОЗЛАКОВЫХ СТЕПЕЙ ВОСТОЧНОЙ МОНГОЛИИ ЗА ОДИННАДЦАТИЛЕТНИЙ ПЕРИОД (2008-2018 гг.)[1]

**© 2019 г. Г.Н. Огуреева*, Л. Жаргалсайхан**, Т.Ю. Каримова***, И.М. Микляева***

**Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет*
*Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1. E-mail: ogur02@mail.ru*
***Институт общей и экспериментальной биологии Монгольской академии наук*
*Монголия, 210351, г. Улан-Батор, просп. Жукова, д. 77. E-mail: l_jaga_cj@mail.ru*
****Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН*
*Россия, 119071, г. Москва, Ленинский просп., д. 33. E-mail: katayur@gmail.com*

Поступила в редакцию 05.04.2019. После доработки 21.04.2019. Принята к публикации 08.05.2019.

Динамика ботанического разнообразия равнинных разнотравно-дерновиннозлаковых степей рассмотрена за период 2008-2018 гг. по материалам проведенного авторами биомониторинга растительного покрова стационара Тумэнцогт (Восточная Монголия) в рамках научной программы Российско-Монгольской комплексной биологической экспедиции. Наблюдения проведены на восьми постоянных пробных площадях размером в 100 м², заложенных по трансекту на межсопочной равнине в северо-восточной части стационара. Проанализирована связь основных параметров растительных сообществ (видовой состав, видовое богатство, видовая насыщенность, высота и обилие видов, степень сомкнутости травостоев) с метеорологическими условиями (теплообеспеченность, количество и распределение осадков в течение вегетационного периода). Сопряженный анализ фитоценотических и климатических данных проведен методом неметрического многомерного шкалирования непрямой ординации. Рассмотрены экотопические флюктуации, обусловленные изменениями количества и режима выпадения атмосферных осадков в разные годы, а также динамикой температурного режима. Максимальная видовая насыщенность сообществ отмечена в годы с низкими значениями омбротермических индексов, а минимальная – в годы с высокими значениями. Флористический состав сообществ трехковыльных степей включает флороценотическое ядро из 23 постоянных многолетних степных и лесостепных видов, обеспечивающих относительную устойчивость экосистем к изменяющимся условиям среды. Динамика степных экосистем восточномонгольских степей носит фитоциклический характер.

*Ключевые слова:* биомониторинг, флуктуации степей, ботаническое разнообразие, биоклиматические показатели.

**DOI: 10.24411/1993-3916-2019-10073**

Одной из актуальных задач биогеографии является изучение пространственно-временной организации растительного покрова. Закономерности распределения растительных сообществ по градиентам факторов среды, их временную динамику, вызванную изменениями природных условий, учитывают при характеристике современного экологического потенциала регионов. Поэтому *цель работы* – выявление разногодичной динамики основных параметров растительных сообществ восточномонгольских разнотравно-дерновиннозлаковых степей, используемых для выпаса домашнего скота, в связи с колебаниями гидротермических показателей тепло- и

[1] Работа выполнена по теме НИР кафедры биогеографии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова «Разнообразие, динамика и мониторинг экосистем в условиях изменений окружающей среды» (Госзадание № АААА-А-16-116032810082-6), а также по теме НИР Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН (Госзадание 0109-2018-0080) «Фундаментальные проблемы охраны живой природы и рационального использования биоресурсов».

влагообеспеченности. В *задачи работы* входило: определение наиболее информативных биоклиматических показателей (средних годовых, средних месячных и средних за вегетационный период), влияющих на видовой состав степных сообществ; оценка изменения видовой насыщенности, состава видов, спектра жизненных форм растений, вызванных разногодичными и сезонными колебаниями климатических условий; выявление общих трендов изменения состава и ботанического разнообразия степей в связи с колебаниями гидротермических показателей.

Растительный покров степей находится в постоянной динамике, связанной с изменением параметров окружающей среды в ходе естественного развития и антропогенного воздействия. В динамическом ряду флуктуации растительных сообществ рассматриваются как их определенные состояния, обусловленные чередованием сухих и влажных лет в многолетнем цикле развития степей. Один из аспектов флуктуаций степей – многолетние изменения фитоценотической роли одно- и двулетних видов в сообществах стационара – отражает динамику качества корма, получаемого на пастбищах (Ogureeva et al., 2011). Мониторинг степной растительности – кормовой базы животноводства – имеет научно-практическое значение. Знания об особенностях флуктуаций растительного покрова необходимы при разработке научно-обоснованной системы мероприятий по регулированию поголовья домашнего скота в годы с недостаточным увлажнением и для снижения негативного воздействия на растительность в неблагоприятные годы.

*Краткая характеристика природных условий стационара.* Степной стационар Тумэнцогт расположен в бассейне среднего течения р. Керулен. Для него характерен структурно-денудационный рельеф – высокие пластовые и цокольные равнины, плоские котловины и слабо омоложенные остаточно-глыбовые горы (Экосистемы …, 1995). Северо-восточную часть стационара, на которой проводился мониторинг, занимает обширная слабоволнистая межсопочная равнина. Ее поверхность слабо наклонена с юго-запада от подножья низких мелкосопочников (943 м н.у.м. БС) на северо-восток – к надпойменной террасе р. Керулен (897 м н.у.м. БС).

Климат резко континентальный, с холодной, продолжительной, практически бесснежной зимой, теплым, коротким летом; небольшим годовым количеством осадков с максимумом в конце лета; частой повторяемостью засух – каждые 2-3 года из пяти лет. Согласно геоботаническому районированию Е.М. Лавренко (1970), территория относится к Восточномонгольской подпровинции Монгольской провинции ультраконтинентального сектора степей Евразии. На формирование растительного покрова влияют выпас домашнего скота и жизнедеятельность мелких млекопитающих: пищухи даурской, полевок Брандта и узкочерепной.

## Материалы и методы

В основу работы положены материалы одиннадцатилетнего биомониторинга (2008-2018 гг.) восточномонгольских степей на стационаре Тумэнцогт, проведенного в составе Российско-Монгольской комплексной биологической экспедиции в рамках изучения состояния экосистем Монголии. На восьми постоянных пробных площадях размером в 100 м², заложенных по трансекту длиной 25 км, шириной 10 км, сделаны 54 полных геоботанических описания. Для настоящего анализа отобраны 3 модельных сообщества формации трехковыльных степей (19 геоботанических описаний). Для каждого из них проанализирован временной ряд изменений ботанического разнообразия за одиннадцатилетний период (всего три временных ряда: I–III): полынно (*Artemisia frigida*[2])–разнотравно (*Aconogon divaricatum, Potentilla acaulis, Serratula centauroides*)–трехковыльного (*Stipa krylovii, S. sibirica, S. grandis*) с участием *Caragana microphylla* (**I** временной ряд), прутняково-полынно (*Artemisia frigida, A. commutata, Kochia prostrata*)–трехковыльного (*Stipa krylovii, S. sibirica, S. grandis*) с участием *Caragana microphylla* (**II** временной ряд), разнотравно (*Aconogonon divaricatum, Serratula centauroides*)–полынно (*Artemisia commutata, A.frigida*)–трехковыльного (*Stipa krylovii, S. sibirica, S. grandis*) с участием *Caragana microphylla* (**III** временной ряд). Они расположены в средней части профиля на абсолютных высотах 919-928 м и наиболее соответствуют зональным условиям разнотравно-дерновиннозлаковых степей Восточной Монголии (Сухие …, 1984; Ogureeva et al., 2011).

[2] Латинские названия растений приведены по работе И.А. Губанова (1996).

Изменения условий тепло- и влагообеспеченности рассмотрены по данным метеостанции Тумэнцогт за одиннадцатилетний период мониторинга, для сравнения рассчитаны средние значения за тридцатидевятилетний период (1980-2018 гг.). Проведен расчёт биоклиматических индексов (табл.), средние многолетние среднемесячные и среднегодовые значения которых используют при биоклиматическом обосновании пространственной структуры и функционирования растительности и применяют для типологических подразделений разных иерархических уровней (Rivas-Martinez et al., 1999). В анализе использовано 17 климатических переменных, которые разделены на три группы.

**Таблица.** Биоклиматические показатели по данным метеостанции Тумэнцогт (948 м н.у.м. БС).

| **Биоклиматические показатели** | | **Годы** | | | | | | | | | | | **Средние многолетние значения 1980-2018 гг.** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **2008** | **2009** | **2010** | **2011** | **2012** | **2013** | **2014** | **2015** | **2016** | **2017** | **2018** | |
| **Тепло-обеспечен-ности** | T_may | 9.9 | **15.5** | 13.6 | 11.8 | 13.8 | **15.2** | 12.0 | 12.0 | 13.6 | **15.1** | **16.9** | 13.1 |
| | T_june | 18.7 | 17.4 | **22.1** | **20.9** | 18.2 | 17.3 | 17.2 | 19.5 | 18.9 | **21.7** | **20.7** | 18.9 |
| | T_july | 21.9 | 21.1 | **23.5** | 20.5 | 20.7 | 19.5 | 19.8 | **23.0** | **23.6** | **23.2** | 20.9 | 21.1 |
| | T_summer | 20.3 | 19.3 | **21.3** | **21.2** | 18.9 | 18.0 | 18.4 | 20.7 | **21.2** | 20.9 | 19.8 | 19.5 |
| | Tbio | **93.4** | **94.0** | 89.3 | **97.5** | 87.2 | 83.8 | 91.5 | **97.4** | 91.9 | **98.1** | **98.3** | 89.0 |
| **Влаго-обеспечен-ности** | P_may | **46.8** | 15.9 | 21.4 | **50.8** | 5.3 | **50.0** | 22.9 | 4.8 | 6.6 | 5.9 | 0.7 | 18.1 |
| | P_june | **161.7** | 59.7 | 53.7 | 58.4 | **110.0** | 55.5 | **149.2** | 21.3 | 39.0 | **2.9** | 21.2 | 54.1 |
| | P_july | 31.5 | 65.5 | 29.7 | 49.0 | **103.9** | **131.5** | **92.1** | 77.5 | 67.8 | 51.8 | 87.2 | 77.9 |
| | P_summer | **270.0** | 156.5 | 130.3 | 133.6 | **290.7** | **276.8** | **263.0** | 137.5 | 126.5 | 138.6 | 117.7 | 191.6 |
| **Биоклима-тические коэффи-циенты** | Ic | **43.6** | 39.5 | **46.4** | 42.6 | 42.5 | 38.6 | 35.2 | 36.6 | **44.1** | 42.7 | 39.8 | 40.0 |
| | IcBaud | **-206.0** | **260.0** | -45.1 | **-371.1** | -181.1 | **-461.9** | 110.1 | 35.6 | 46.3 | **-1431.8** | 147.9 | 225.6 |
| | WKI | 60.7 | **62.9** | **65.8** | 62.5 | 57.9 | 55.1 | 57.7 | **62.7** | **63.5** | **65.5** | **64.6** | 57.7 |
| **Омбротер-мические индексы** | $Ios_1$ | 14.4 | 31.0 | 12.7 | 23.9 | **50.2** | **67.4** | 46.6 | 33.7 | 28.8 | 22.3 | 41.7 | 37.0 |
| | $Ios_3$ | **132.9** | 81.1 | 61.2 | 63.1 | **153.4** | **154.1** | **143.1** | 66.4 | 59.8 | 66.4 | 59.6 | 98.5 |
| | $Ios_4$ | **178.7** | 94.0 | 78.3 | 97.9 | **167.6** | **189.3** | **170.4** | 76.8 | 69.1 | 74.4 | 62.2 | 117.4 |
| | $Ios_5$ | **471.1** | 102.6 | 157.4 | **430.5** | 38.4 | **329.7** | **190.8** | 39.9 | 48.6 | 39.0 | 4.1 | 138.4 |
| | $Ios_6$ | 9.1 | 0.2 | **-58.2** | 15.2 | **24.8** | **89.5** | 4.5 | 6.9 | 5.9 | 12.1 | 5.7 | 18.2 |

**Примечания к таблице и рисункам 1-3:** Показатели теплообеспеченности: средняя температура воздуха для мая – T_may, июня – T_june, июля – T_july, лета – T_summer; биологически активная температура – Tbio. Показатели влагообеспеченности: суммарное количество осадков для мая – P_may, июня – P_june, июля – P_july, лета – P_summer. Биоклиматические коэффициенты: индекс континентальности – Ic (Ic=Tmax–Tmin, где Tmax – средняя температура июля, Tmin – средняя температура января; Rivas-Martinez et al., 1999); индекс континентальности Бодье – IcBaud (IcBaud=(100*Psummer)/($M_sum^2$–$m_win^2$), где Psummer – количество осадков в теплый период года, M_sum – средняя декадная максимальная температура июля, m_win – средняя декадная минимальная температура января; Carballeira et al., 1983); индекс тепла Кира – WKI (WKI=Σmax{0, (Ti–5)}, где Ti – сумма среднемесячных температур выше 5°C; Kira, 1977). Омбротермические индексы (Rivas-Martinez et al., 1999): омбротермический индекс июля – $Ios_1$ ($Ios_1$=(P_july/T_july)*10, где P_july – количество осадков июля, T_july – средняя температура июля); омбротермический индекс лета – $Ios_3$ ($Ios_3$=(P_summer/T_summer)*10, где P_summer – количество осадков теплой четверти года, T_summer – средняя температура теплой четверти года); омбротермический индекс май-лето – $Ios_4$ ($Ios_4$=(P_may_summer/T_may_summer)*10, где P_may_summer – количество осадков теплого периода года (май и летние месяцы), T_may_summer – средняя температура теплого периода года); омбротермический индекс мая – $Ios_5$ ($Ios_5$=(P_may/T_may)*10, где P_may – количество осадков мая, T_may – средняя температура мая); омбротермический индекс апреля – $Ios_6$ ($Ios_6$=(P_april/T_april)*10,

где P_april – количество осадков апреля, T_april – средняя температура апреля). Жирным шрифтом выделены значительные отклонения от средних многолетних значений.

В первую группу входят среднемесячные и сезонные показатели тепло- и влагообеспеченности, наиболее важные для развития конкретных видов растений (табл.). Вторая группа объединяет биоклиматические коэффициенты, рассчитанные по соотношению показателей тепла и влаги в теплые и холодные периоды года. В третью группу входят биоклиматические показатели, интегрально характеризующие условия тепло- и влагообеспеченности за весенне-летний период года (омбротермические индексы; табл.). Анализ динамики показателей тепло- и влагообеспеченности проведен с допущением небольшого варьирования эдафических условий, поскольку все геоботанические описания выполнены на поверхности одной межсопочной равнины.

Сопряженный анализ фитоценотических и климатических данных проведен на основе ординации методом неметрического многомерного шкалирования (Clarke, 1993). Метод позволяет расположить геоботанические описания в многомерном пространстве по рангам расстояний между ними в соответствии с максимальным варьированием показателей (видовой состав, проективное покрытие видов) и градиентами определенных факторов. Степень влияния конкретного экологического фактора определяется теснотой коррелятивной связи его значений и координат геоботанических описаний на осях ординации. Наиболее значимые факторы для анализа пространственно-временного изменения фитоценотического разнообразия установлены по коэффициенту корреляции Спирмена.

Изменения видового состава сообществ, происходящие в каждый год наблюдений, отражены с помощью ординации на первых трех осях, имеющих наибольшие коэффициенты детерминации. Описания степных сообществ за разные годы отобразились в двумерных системах координат первых двух осей ординации.

Оценка состава и состояния степных сообществ в 2008-2018 гг. проводилась по показателям, отражающим особенности функционирования сообществ под влиянием разногодичных колебаний температуры воздуха и количества осадков: видовой состав, проективное покрытие видов и различных эколого-ценотических групп растений, их жизненных форм. При анализе зависимости разногодичных изменений степей от биоклиматических показателей сделано допущение, что пастбищная нагрузка в течение рассматриваемого периода была постоянной, поэтому ее влияние на флуктуацию сообществ не учитывалось.

Распределение видов по зонально-поясным группам и типам ареалов проводилось по Л.И. Малышеву и Г.А. Пешковой (1984). Обилие видов растений дано по их проективному покрытию.

## Результаты и обсуждение

*Условия тепло- и влагообеспеченности.* В пределах рассматриваемого периода времени (11 лет) не выражены однонаправленные градиенты каких-либо биоклиматических показателей. Относительно средних многолетних значений отклонения разнонаправленные, в среднем небольшие, но в отдельные годы значительные. Высокая влагообеспеченность весенне-летнего сезона характерна для 2018 г., особенно его первой половины (количество осадков в мае превышало средние многолетние значения в 2.5 раза, в июне – в три раза) при близких к норме показателях теплообеспеченности. В 2010 г средняя летняя температура превышала норму почти на 2°С при дефиците летних осадков. В 2014 году отмечалось повышенное увлажнение в июне (количество осадков в три раза превысило норму). По гидротермическим показателям оказались наиболее близкими 2015 и 2016 гг. Для вегетационных периодов этих лет характерно недостаточное количество осадков и небольшое превышение теплообеспеченности, в сравнении со средней многолетней. Резко выраженный дефицит осадков в мае и июне выявлен в 2017 и 2018 гг. (табл.).

В течение рассматриваемого периода наблюдений установлены значительные колебания биоклиматических показателей, рассчитанных по соотношению тепла и влаги. Омбротермические индексы летних месяцев и мая значительно превысили средние многолетние значения в 2008, 2013 и 2014 гг., которые отличаются повышенным увлажнением и невысокой теплообеспеченностью (табл.).

Соотношение увлажнения в течение вегетационного периода с показателями теплообеспеченности отражает направленность разногодичных изменений степных сообществ (рис. 1-3). Для временных рядов сообществ **I** и **II** отмечена достоверная связь с показателем средней

многолетней температуры мая (r – коэффициенты корреляции 0.87 и 0.90 соответственно, $p<0.05$). Выявлены наиболее тесные связи ($p<0.01$) показателей теплообеспеченности с биологически активной температурой (r=0.94) и индексом тепла Киры (r=0.93). В **III** временном ряду выявлена достоверная связь с температурой мая (r=0.87) и омбротермическими индексами: летним (r=-0.79) и весенне-летним (r=-0.79).

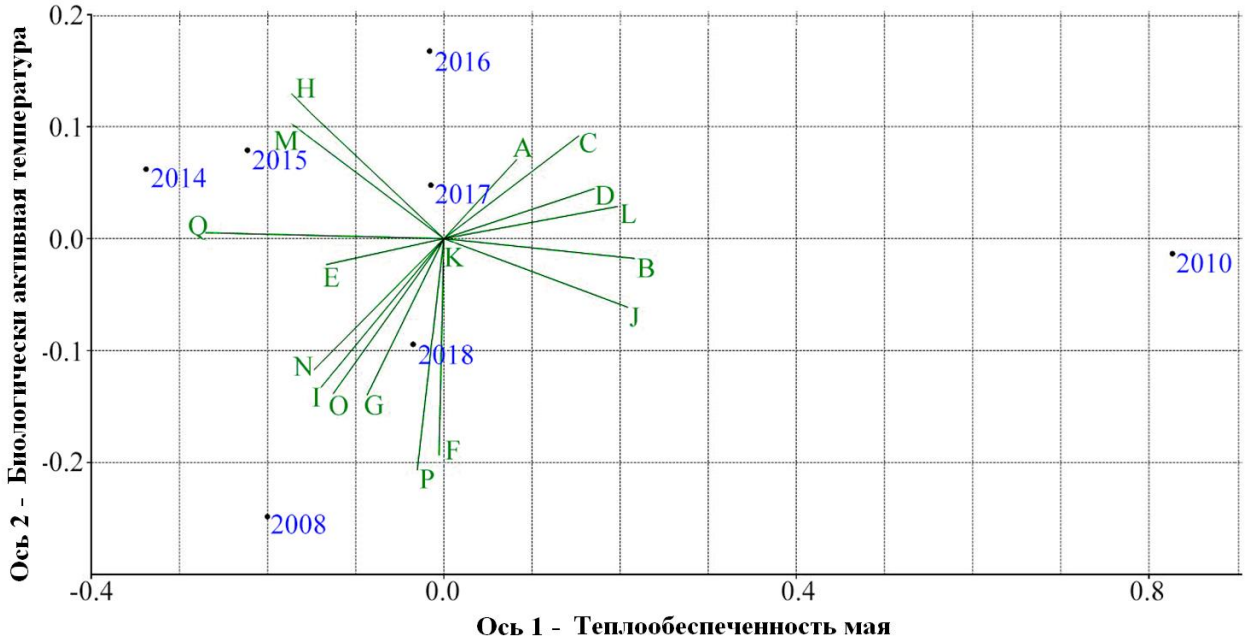



**Рис. 1.** NMS-ординация временного ряда сообщества **I**. *Условные обозначения* к рисункам 1-3. Биоклиматические показатели: A – T_may, B – T_june, C – T_july, D – T_summer, E – Tbio, F – P_may, G – P_june, H – P_july, I – P_summer, J – Ic, K – IcBaud, L – WKI, M – Ios1, N – Ios3, O – Ios4, P – Ios5, Q – Ios6. Обозначения индексов дается в примечании к таблице.

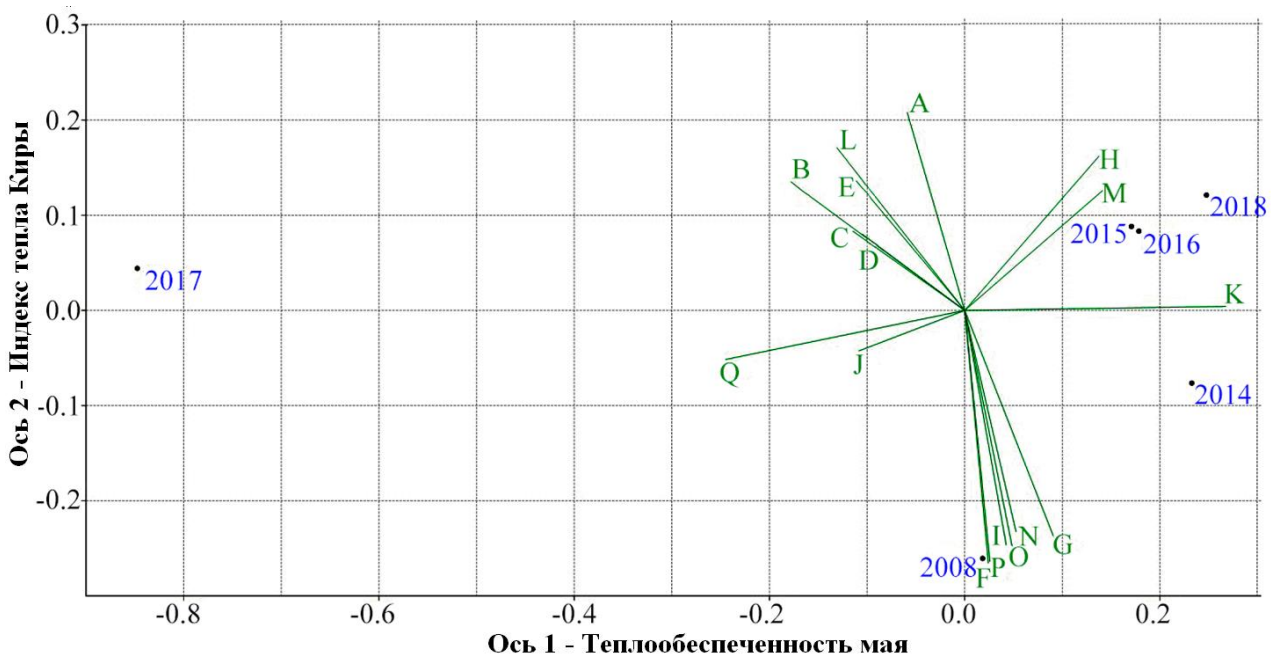



**Рис. 2.** NMS-ординация временного ряда сообщества **II**.

На первых осях ординации, с наибольшей долей изменчивости признаков в каждом временном ряду сообществ, отмечены значимые корреляционные связи средней температуры мая и летнего сезона, количества осадков в июле, индекса континентальности и индекса тепла Киры в двух временных рядах сообществ. Вторая ось ординации не имеет достоверных связей с изменениями сообществ во временных рядах. Третья ось ординации отражает незначительную долю варьирования признаков во временных рядах сообществ.

*Ботаническое разнообразие степей*. Видовое богатство всех степных сообществ профиля на мониторинговом участке представлено 101 видом сосудистых растений из 70 родов и 30 семейств. Видовое богатство *трех модельных сообществ трехковыльных степей* довольно близкое: 93 вида из 67 родов и 29 семейств. Наиболее представительны семь семейств: Asteraceae (15 видов), Fabaceae (12), Poaceae (10), Rosaceae (8), Chenopodiaceae (7), Alliaceae (6) и Brassicaceae (4), что соответствует преобладающим семействам во флоре степей Восточной Монголии в целом (Дашням, 1966).

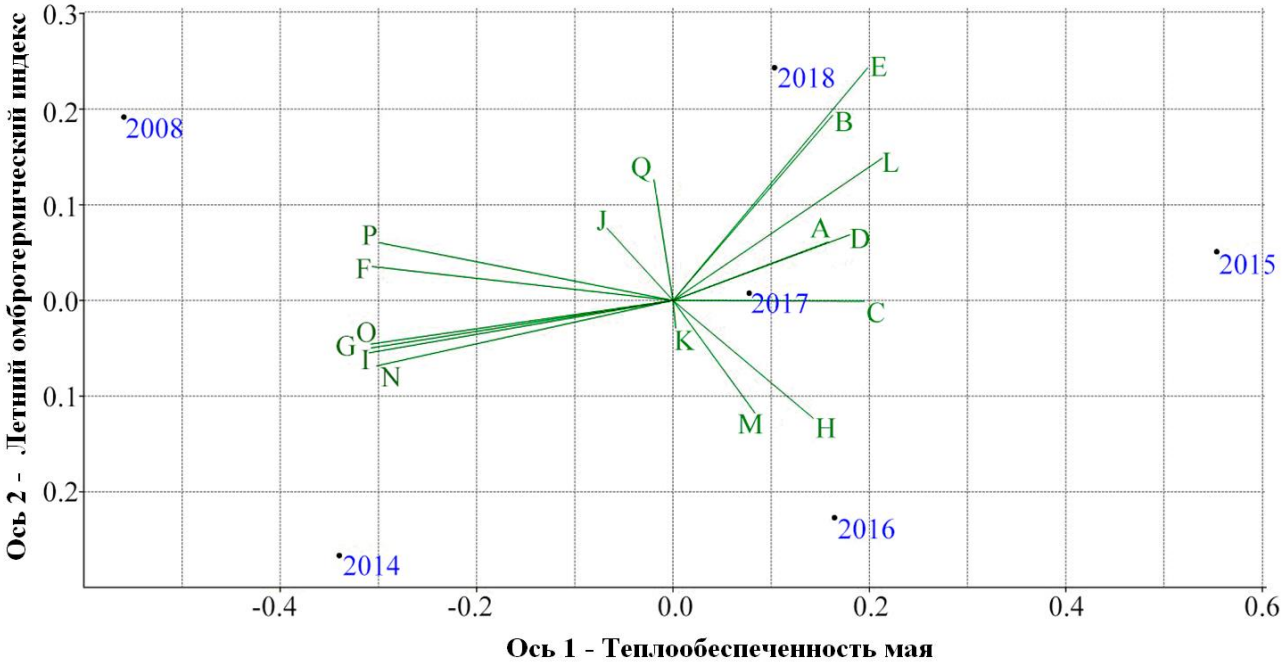



**Рис. 3.** NMS-ординация временного ряда сообщества **III**.

Выделено четыре объединенных зонально-поясных групп видов в соответствии с их распространением: большая часть (98 видов) входят в состав степной (43%), горностепной (37%) и лесостепной (18%) групп; оставшиеся 3 вида (3%) отнесены к группе с полизональным распространением на территории Монголии. Географический анализ флоры позволил отнести ареалы видов сосудистых растений к 14 типам, из которых восемь определяют основной видовой состав сообществ: *южносибирско-монгольский* (20%), *евразиатский* (12%), *центральноазиатский* (15%), *маньчжуро-даурский* (13%), *восточноазиатский* (10%), *азиатский* (8%), *североазиатский* (9%), *бореальный голарктический* (8%).

Распределение 93 видов трех модельных сообществ по зонально-поясным группам сходно с их распределением во всех сообществах по профилю: степные виды (43.0%), горностепные (36%), лесостепные (19%); с полизональным распространением (2%). Распределение видов по географическим группам (по типам ареалов) также имеет сходный характер. В основной состав сообществ входят виды с южносибирско-монгольским (20%), маньчжуро-даурским (14%), евразиатским (13%), центральноазиатским (13%), восточноазиатским (10%), североазиатским (9%), азиатским (8%) и бореальным голарктическим (8%) типами ареалов.

Высокое постоянство (>80%) за все годы, во всех сообществах по профилю выявлено у 23 видов, входящих в состав 10 первых семейств, отмеченных выше. С постоянством 100% в каждом сообществе ежегодно отмечены девять видов, из них три первых доминируют: *Stipa grandis*,

*S. sibirica, S. krylovii, Cleistogenes squarrosa, Leymus chinensis, Artemisia frigida, Aconogonon divaricatum, Serratula centauroides, Caragana microphylla*. Высокое постоянство (80-95%) имеют еще 14 видов: *Koeleria cristata, Agropyron cristatum, Kochia prostrata, Artemisia commutata, Allium anisopodium, A. bidentatum, A. senescens, Astragalus adsurgens, A. tenuis, Medicago ruthenica, Euphorbia discolor, Haplophyllum davuricum, Potentilla acaulis, Saposhnikovia divaricata*. Эти виды составляют флоро-ценотическое ядро, обеспечивающее устойчивость степных экосистем и относятся к преимущественно степным (12 видов) и лесостепным (6) видам растений с маньчжуро-даурским (4вида), южносибирско-монгольским (3), евразиатским (3), восточноазиатским (3) и североазиатским (3) типами ареалов.

Все виды растений по характеру жизненных форм (Горшкова 1966; Грубов, 1982) отнесены к восьми обобщенным группам: стержнекорневые (42 вида), дерновинные (10), корневищные (17), луковичные (2), полукустарнички (5), кустарнички (1), кустарники (2), одно/двулетники (14).

Постоянство видов зонально-поясных групп и их проективное покрытие отражают величину среднегодового количества осадков в соответствующие годы, и их распределение в весенне-летний период. Так, доля лесостепных видов в трех модельных сообществах от общего проективного покрытия меняется по годам от 18% в 2016 г. до 28% в 2010 г. и прямо пропорциональна количеству осадков, выпавших в апреле-мае ($r=0.84$, $p<0.05$) в эти годы. Доля в общем проективном покрытии степных видов довольно стабильная – 33% в 2010 г., 41% – в 2015 г. и не зависит от количества осадков.

Среднее проективное покрытие травостоя в модельных сообществах изменяется в соответствии с варьированием количества осадков: низкое (32%) в 2017 г., наиболее высокое (60%) в 2014 г. и прямо пропорционально количеству выпавших осадков в начале вегетационного периода – апрель-июнь ($r=0.76$, $p<0.05$).

Также отмечено снижение доли караганы мелколистной (*Caragana microphylla*) в проективном покрытии сообществ (в 6-20 раз с 2008 по 2018 гг.) и увеличение в последние годы ценотической роли осоки (*Carex duriuscula*).

*Особенности растительных сообществ*: полынно (*Artemisia frigida*)–разнотравно (*Aconogon divaricatum, Potentilla acaulis, Serratula centauroides*)–трехковыльная (*Stipa krylovii, S. sibirica, S. grandis*) степь с участием *Caragana microphylla* (**I**) сформировалась на высоте 920 м н.у.м. БС (47° 40.568′ с.ш., 112° 24.541′ в.д.). Флористическое богатство сосудистых растений, выявленное за годы исследований, составляет 73 вида. Видовая насыщенность значительно варьирует в разные годы: от 27 видов в 2014 г. с повышенным количеством летних осадков и высокими значениями омбротермических индексов до 53 видов в 2017 г. – с дефицитом осадков, особенно в начале вегетационного сезона, и низкими значениями омбротермических индексов. В описаниях каждого года исследований зафиксированы 14 видов. Из постоянных видов наряду с ковылями и *Artemisia frigida* в степных сообществах также доминируют и содоминируют три вида: *Cleistogenes squarrosa, Agropyron cristatum, Leymus chinensis*. Высокое постоянство и небольшое проективное покрытие имеют лугово-степные виды: *Allium senescens, Artemisia commutata, Medicago ruthenica, Euphorbia discolor, Schizonepeta multifida*. Только в один год из десяти отмечены 16 видов; каждый с низким проективным покрытием. Например, из многолетних степных растений – *Saussurea salicifolia, Thalictrum squarrosum*; из однолетних – *Eragrostis minor, Dontostemon integrifolius*.

Прутняково-полынно (*Artemisia frigida, A.commutata, Kochia prostrata*)–трехковыльная (*Stipa krylovii, S. sibirica, S. grandis*) степь с участием *Caragana microphylla* (**II**) расположена на высоте 919 м н.у.м. БС (47° 42.533′ с.ш., 112° 30.569′ в.д.). Флористическое богатство сосудистых растений небольшое – 55 видов. Видовая насыщенность значительно варьирует в разные годы: максимальная видовая насыщенность (45 видов) отмечена в засушливые 2016-2017 годы, с низкими значениями омбротермических индексов, а минимальная (29) – во влажный 2008 год с высокими значениями индексов. Наряду с доминантами высокое постоянство имеют 19 видов: горностепные – *Allium anisopodium, A. bidentatum, Potentilla acaulis,* лесостепные – *Aconogonon divaricatum, Allium ramosum, Astragalus adsurgens, Galium verum, Potentilla bifurca* и степные – *Allium senescens, Astragalus tenuis, Medicago ruthenica, Serratula centauroides, Artemisia commutata, Carex duriuscula, Chenopodium aristatum, Haplophyllum davuricum,* а также светлохвойнолесной – *Euphorbia discolor*. Во влажный 2008 год обилие однолетней *Salsola collina* составило 20%, а в сухой 2017 год снизилось до

<1%.

Разнотравно (*Aconogonon divaricatum, Serratula centauroides*)–полынно (*Artemisia commutata, A. frigida*)–трехковыльная (*Stipa krylovii, S. sibirica, S. grandis*) степь с участием *Caragana microphylla* (**III**; высота 928 м н.у.м. БС, 47° 41.586′ с.ш., 112° 29.405′ в.д.). Флористическое богатство составляют 63 вида. Видовая насыщенность меняется от 34 видов во влажный 2008 г. с высокими значениями омбротермических индексов до 42 в засушливые 2016 и 2017 гг. с низкими значениями индексов. Высокое постоянство в течение одиннадцати лет имеют 22 вида и в течение девяти лет – 6. Наряду с доминантами высокое постоянство у горностепных видов – *Allium anisopodium, A. bidentatum, Potentilla acaulis* и *Saposhnikovia divaricata*, лесостепные – *Astragalus adsurgens* и степные – *Artemisia palustris, Allium senescens, Astragalus galactites, A. tenuis, Medicago ruthenica, Chamaerhodos erecta, Euphorbia discolor, Haplophyllum davuricum, Salsola collina, Thalictrum squarrosum*.

Отдельную группу представляют 13 одно-, двулетних видов, которые за все годы наблюдений периодически отмечены в сообществах; в некоторые годы в конкретном сообществе из них присутствуют 2-3 вида. Виды этой группы принадлежат разным семействам: *Chenopodium aristatum, Ch. acuminatum, Ch. album, Axyris amarantoides, Salsola monoptera, Kali collina* (Chenopodiaceae); *Artemisia palustris, A. scoparia, Heteropappus hispidus* (Asteraceae); *Dontostemon integrifolius, Draba nemorosa* (Brassicaceae); *Orostachys malacophylla* (Crassulaceae); *Eragrostis minor* (Poaceae). Их присутствие связано с колебаниями осадков вегетационного периода (Ogureeva et al., 2011), они определяют состояние степных экосистем в разные годы многолетнего цикла развития.

## Выводы

Установлено, что разногодичные изменения видового состава и обилия видов в сообществах трехковыльных степей Восточной Монголии находятся в тесной связи с колебаниями погодных условий в многолетнем цикле развития, что прослеживается корреляциями с биоклиматическими показателями. Наиболее тесные достоверные связи выявлены с коэффициентами, характеризующими соотношение тепла и влаги в вегетационный период. Значимые коэффициенты корреляции выявлены также для среднемесячных показателей температуры и осадков теплого периода года.

Выявлено, что флористический состав степных сообществ трехковыльных степей включает флоро-ценотическое ядро из 23 постоянных многолетних видов, относящихся к разным семействам, обеспечивающим относительную устойчивость экосистем к меняющимся показателям среды. Это ядро составляют преимущественно степные и лесостепные растения с южносибирско-монгольским, маньчжуро-даурским, евразиатским, восточноазиатским и североазиатским типами ареалов. Основу сообществ в течение всего периода наблюдений составляют крупные ковыли: плотно- и крупнодерновинный – *Stipa krylovii*, среднедерновинный – *S. grandis* и рыхлодерновинный – *S. sibirica*.

Видовая насыщенность сообществ меняется по годам: максимальная отмечена в годы с низкими значениями омбротермических индексов, а минимальная – в годы с высокими значениями.

Полноценный флоро-ценотический состав разнотравно-деновиннозлаковых степей трехковыльной формации (93 вида) не был зафиксирован за годы наблюдений. В основном проявляются экотопические флуктуации. Для флуктуаций характерна цикличность изменений фитоценозов от года к году и по периодам лет, устойчивость основного флористического состава, порой с возвратом к определенным состояниям. Часто они имеют часто волнообразный (Работнов, 1974) характер. Экотопические флуктуации проявляются от года к году в связи с изменением сочетания атмосферных осадков и температурного режима. Динамика степных экосистем восточномонгольских степей стационара носит фитоциклический характер, что связано, во многом, с особенностями жизненного цикла многих растений. Эту специфику степных экосистем необходимо учитывать при использовании и улучшении пастбищного фонда региона.

*Благодарности.* В основу работы положены результаты многолетних полевых исследований картографического отряда Российско-Монгольской комплексной биологической экспедиции Российской и Монгольской академий наук под руководством П.Д. Гунина. Авторы выражают благодарность руководству экспедиции за предоставленную возможность участия в исследованиях, а также сотрудникам метеостанции Тумэнцогт за предоставленные материалы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Горшкова А.А.* 1966. Биология степных пастбищных растений Забайкалья. М.: Наука. 274 с.

*Грубов В.И.* 1982. Определитель сосудистых растений Монголии (с атласом). Л.: Наука. 442 с.

*Губанов И.А.* 1996. Конспект флоры Внешней Монголии (сосудистые растения). М.: Волан. 136 с.

*Дашням Б.* 1966. Растительность Восточного аймака Монгольской Народной Республики и ее хозяйственное использование. Автореф. … канд. биол. наук. Л.: На страже Родины. 26 с.

*Лавренко Е.М.* 1970. Провинциальное разделение Центральноазиатской подобласти степной области Евразии // Ботанический журнал. Т. 55. № 12. С. 1734-1747.

*Малышев Л.И., Пешкова Г.А.* 1984. Особенности и генезис флоры Сибири: Предбайкалье и Забайкалье. Новосибирск: Наука. 265 с.

*Работнов Т.А.* 1974. Луговедение. М.: Изд-во Московского университета. 384 с.

Сухие степи Монгольской Народной Республики. 1984 / Ред. Е.М. Лавренко, В.Е. Соколов. Л.: Наука. 167 с.

Экосистемы Монголии: Распространение и современное состояние. 1995 // Труды Совместной Российско-Монгольской комплексной биологической экспедиции. Т. 39. М.: Наука. 223 с.

*Carballeira A., Devesa C., Retuerto R., Santillan E., Ucieda F.* 1983. Bioclimatologia de Galicia. Fund Petro Barrie La Coruna, Spain. P. 1-392.

*Clarke K.R.* 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure // Australian Journal of Ecology. Vol. 18. P. 117-143.

*Kira T.* 1977. Climatological interpretation of Japanese vegetation zones // Vegetation science and environmental protection / Eds. A. Miyawaki, R. Tüxen. Maruzen, Tokyo. P. 21-30.

*Ogureeva G.N., Miklyaeva I.M., Bocharnikov M.V., Jargalsaikhan L.* 2011. Spatial and temporal variability of dry steppes of Eastern Mongolia // Geography Environment Sustainability. Vol. 4. No. 1. P. 46-58.

*Rivas-Martinez S., Canto P., Fernandez-Gonzalez F., Molina J.A., Pizarro J.M., Sanchez-Mata D.* 1999. Synopsis of the Sierra de Guadarrama vegetation // Itinera Geobotany. Vol. 13. P. 189-206.

*АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2019, том 25, № 4 (81), с. 61-70*

**ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ**

*УДК 910.3; 614.4*

# ОЦЕНКА ПРИРОДНО-ОБУСЛОВЛЕННЫХ ОПАСНОСТЕЙ В ПРИРОДНОМ РЕЗЕРВАТЕ «ИЛЕ-БАЛХАШ» (КАЗАХСТАН)[1]

**© 2019 г. Е.Г. Королева, Т.В. Дикарева, В.А. Дикарев**

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет*
*Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 1*
*E-mail: tanikdik@yandex.ru, koroleva@sc.msu.ru, vasdikarev@yandex.ru*

Поступила в редакцию 18.03.2018. После доработки 25.03.2019. Принята к публикации 07.05.2019.

В статье дается медико-экологическая и биогеографическая оценка потенциальных природно-обусловленных опасностей на территории природного резервата «Иле-Балхаш» (Республика Казахстан) с учетом планируемой в нем туристической деятельности. Анализ факторов воздействия проводится по аллергенным и ядовитым растениям, а также по наличию природных очагов инфекций. Медико-географический риск заключается в функционировании на территории резервата природных очагов пяти нозоформ, среди которых туляремия и бруцеллез имеют в регионе высокие показатели заболеваемости людей. Обитание на территории резервата млекопитающих-носителей природно-очаговых инфекций, а также произрастание здесь значительного числа ядовитых и аллергенно-активных растений свидетельствует о наличии соответствующего риска и предполагает необходимость регулярного медико-экологического мониторинга. Представленная методологическая схема оценки природно-обусловленных опасностей может быть применена и для других аридных территорий и регионов.

*Ключевые слова:* Природный резерват, природно-обусловленные опасности, аллергенные растения, природноочаговые инфекции.
**DOI: 10.24411/1993-3916-2019-10074**

Год назад в Балхашском районе Алма-Атинской области Казахстана вдоль дельты реки Или и на прилегающих с востока аридных пустынно-степных ландшафтах появился государственный природный резерват «Иле-Балхаш» (Постановление ..., 2018). Природоохранная ценность взятой под охрану территории несомненна: это высокое разнообразие растительного и животного мира, большое число редких и эндемичных растений и животных, а также обширные заболоченные массивы на юго-восточном побережье озера Балхаш, где гнездится огромное количество водоплавающих и околоводных птиц (Султанова и др., 2012). Современная дельта реки Или считается одной из крупных сохранившихся дельт в аридных регионах в аридных регионах Центральной Азии. Однако главной причиной введения заповедного режима стал уникальный и не имеющий аналогов проект экологической реставрации, целью которого является реинтродукция исчезнувшей на этой территории фауны крупных млекопитающих, включая тигра. Еще 80 лет назад в Казахстане в тугайных лесах и тростниковых болотах обитал туранский (закавказский или каспийский) тигр (*Panthera tigris virgata*[2]), но из-за неконтролируемой охоты и разрушения природных экосистем в ходе ирригационных проектов этот подвид исчез полностью. В рамках запланированной экологической реставрации планируется восстановить комплексы природных экосистем, в частности, пойменные леса, поголовье копытных (кулана, тугайного благородного оленя) и создать кормовую базу тигра, численность которого предположительно должна составить не менее 100 особей, что в глобальном масштабе приблизится к одной двадцатой части существующей мировой популяции

[1] Работа выполнена по теме НИР кафедры биогеографии географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова «Разнообразие, динамика и мониторинг экосистем в условиях изменений окружающей среды» (Госзадание № АААА-А-16-116032810082-6)».
[2] Названия видов животных на латинском даны по работе И.Я. Павлинова с соавторами (2002).

этого хищника. Вымершего туранского тигра заменит генетически близкий подвид амурского тигра (*Panthera tigris altaica*), расселение которого в настоящее время успешно проводят в дальневосточных лесах России.

В соответствии с положениями «Концепции устойчивого развития Или-Балхашского бассейна» (2000), на южном побережье озера Балхаш планируется развивать экологический туризм в самых разнообразных формах – от наблюдения птиц и животных в дикой природе (bird- и wild-watching) и фотоохоты до обустройства лодочных, конных, пеших и автомобильных маршрутов по территории резервата. Жители Балхашского и прилегающих районов, по планам экспертов, будут участвовать в этой деятельности. Регион отличается высокой плотностью населения, проживающего вокруг нового резервата, что делает необходимым учитывать его интересы, в том числе в социально-экономической, инфраструктурной и просветительской сферах. На создание кормовой базы тигра (этап восстановления численности копытных) отводится до 7 лет, на создание устойчивой популяции тигра (не менее 50 особей) – от 15 до 25 лет. Таким образом, долгосрочная широкомасштабная и целенаправленная экологическая реставрация ландшафтов дельты реки Или и южного побережья Балхаша с возвратом в них редких и исчезнувших видов животных, а также развитие экологического туризма могут привести к значительному увеличению антропогенного пресса на аридные экосистемы, росту туристических потоков, активизации контактов людей с природными достопримечательностями и объектами, как это сейчас наблюдается в национальных парках Казахстана. Между тем, за скобками обсуждений остались вопросы медико-экологической опасности преобразуемой территории. Трансформация растительного и животного мира, изменение системы землепользования, приток туристов и жителей соседних районов способны активизировать существующие и создать новые очаги медико-экологического риска для здоровья человека. Поэтому на первых этапах организации особо охраняемой природной территории необходимо проводить учет и оценивать степень опасности имеющихся природных опасностей, в том числе вызванных аллергенными и ядовитыми растениями, а также наличием природных очагов инфекций. Такая характеристика послужит начальным этапом последующего медико-экологического мониторинга и отправной (фоновой) точкой в оценке эффективности проводимых мероприятий эко-реставрации и в прогнозе ожидаемых изменений.

Целью и задачами настоящего исследования явилась оценка потенциального природно-обусловленного риска на территории вновь созданного природного резервата «Иле-Балхаш» и создание алгоритма подобной оценки для других существующих и планируемых особо охраняемых природных территорий в аридных регионах Казахстана. Анализ факторов воздействия проводится с биогеографических позиций (Воронов, 1981; Воронов и др., 2015), в его основу положены принципы превентивности, то есть необходимости предупреждения неблагоприятных последствий, вызванных контактом человека с окружающей средой, комплексности (или многомерности), которые предполагают рассмотрение различного числа показателей, характеризующих взаимосвязи между факторами окружающей среды и здоровьем населения, а также презумпции экологической опасности, то есть поиска тех явлений и объектов природной среды, которые, не будучи явными и заметными, могут оказать неблагоприятное воздействие на здоровье человека (Малхазова, Королева, 2011). Примером может служить рост аллергических заболеваний у людей, более тяжелое течение этих болезней, увеличение заболеваемости бронхиальной астмой детей, в связи с чем аллергическая патология за последние годы превратилась в серьезную медико-биологическую проблему, до последнего времени не находившая должного внимания (Чучалин, 1985). Причиной развития пыльцевой бронхиальной астмы могут быть растения-аллергены. Это деревья и кустарники, в нашем случае это ива, тополь, сосна; злаковые растения – овсяница, лисохвост, мятлик, костер, ковыль и другие, также сорные травы – полынь, лебеда, амброзия, крапива и др.

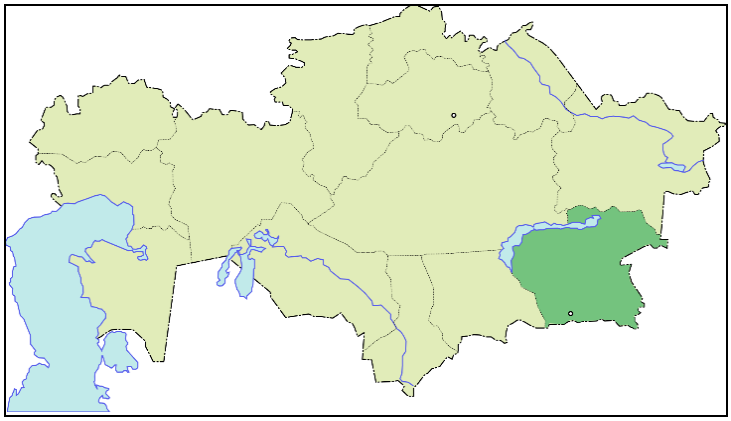
## Материалы и методы исследований

В качестве исходных данных использовались материалы Комитета по статистике Министерства национальной экономики Республики Казахстан и Министерства здравоохранения (Министерство национальной …, 2019; Министерство здравоохранения …, 2019), картографические источники: Национальный атлас Республики Казахстан (2006), Большой атлас Казахстана (2011), Atlas of Bacterial and Virus Zoonotic Infections Distribution in Kazakhstan (2010); материалы Казахского Научного центра карантинных и зоонозных инфекций им. М. Айкимбаева. Собранные

статистические показатели за период были занесены в рабочие базы данных по: 1) актуальным нозоформам природно-очаговых инфекций и заболеваемости населения (с 1999 по 2014 гг.), 2) аллергенным растениями, 3) ядовитым для человека растениям. Для обработки медико-статистических данных была использована программа Microsoft Office Excel 2010. Картографический анализ и моделирование полученных результатов проводились с помощью программ SASPlanet и GIS-технологии (ArcGIS 10.3), которое представляет собой набор инструментов для сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных (географических) данных и связанной с ними информации. Работа программного обеспечения ArcGIS 10.3 осуществлялась в приложениях ArcMap, ArcCatalog и ArcToolbox. Полученные данные внесены в компьютерную программу, в результате чего сформирована база данных в виде dbf и shape файлов. При проведении расчетов индексов и показателей опасности аллергенных растений применялся метод бальных оценок (Дикарева, Румянцев, 2015). В исследовании применялся также экспертный метод оценки экологических рисков на основе имеющихся картографических материалов и выполненных авторами ранее работ по медико-географической оценке Казахстана (Королева, 2016; Дикарева, Королева, 2017). Анализ и оценка медико-экологической опасности проводился на двух уровнях: территории природного резервата «Иле-Балхаш» (обозначение имеющихся опасностей) и Алматинской области, которой подчинен Балхашский район, как фоновой территории и для выявления потенциальных опасностей. В последнем случае был применен метод географической экстраполяции.

## Результаты и их обсуждение

Природный резерват «Иле-Балхаш» находится в Балхашском районе Алматинской области (рис. 1). Граничит с Каратальским, Коксукским, Кербулакским, Жамбылским, Илийским районами и г. Капшагай, а также с Мойынкумским районом Жамбылской области.



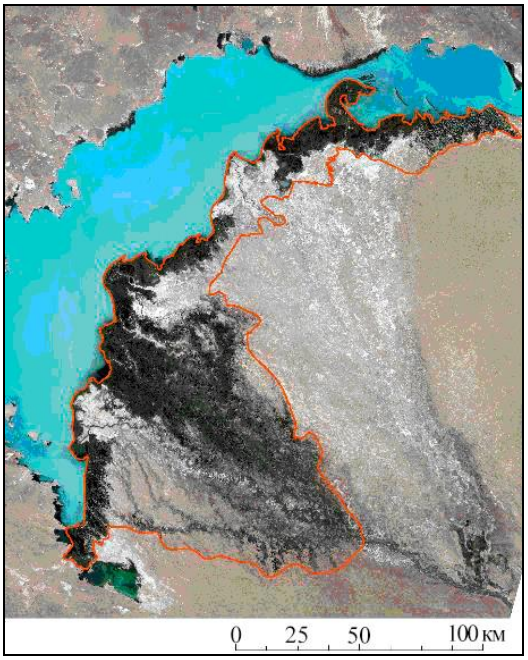



**Рис. 1.** Местоположение государственного природного резервата «Иле-Балхаш» в пределах Казахстана. *Условные обозначения*: зеленым цветом обозначена Алматинская область, красной линией на фрагменте космоснимка обозначены границы резервата «Иле-Балхаш».

Территория представляет собой аккумулятивные равнины Балкаш-Алакольской впадины и сложена мощной толщей рыхлых аллювиальных, пролювиальных, озерных и эоловых отложений средне- и позднечетвертичного возраста, а также современных. Здесь сформировались почвы нескольких типов: такыровидные и такыры, пойменные луговые, лугово-болотные, солончаки, а также пустынные пески с почвообразованием бурого типа (Большой атлас ..., 2011).

Территория природного заповедника «Иле-Балхаш» в морфоструктурном отношении расположена в зоне сочленения орогеннных областей и платформ и представляет собой крыло Алакульской предгорной впадины с достаточно ровным рельефом постепенно постепенно переходящим в предгорья Джунгарского Алатау и Тянь-Шаня. В пределах территории заповедника простирается два активных тектонических разлома. Первый совпадает с основным руслом р. Или,

второй – с долиной р. Баканас, разломы соединяются в районе пос. Баканас. Сейсмически район стабилен, ближайшая сейсмогенерирующая область – Баканасская, простирающаяся к юго-востоку от пос. Баканас, с коэффициентом сейсмичности ≤6.0 баллов по шкале MSK-64. Амплитуда неотектонических деформаций территории принадлежащей заповеднику не превышает 200 м (Карта общего …, 2010).

В геологическом плане территория заповедника в основном сложена аллювиальными отложениями р. Или и её дельты, позднеплейстоценового и голоценового возраста. Отдельные участки сложены среднейплейстоценовыми глиняными останцами. В междуречье территории представляют собой песчаные полупустыни с барханами и ровным эоловым рельефом (Геологическая карта …, 1998).

*Растительность.* В соответствии с ботанико-географическим районированием территория Иле-Балхашского бассейна относится к Северо-Туранской провинции Сахаро-Гобийской пустынной области. Фитоценотическое разнообразие территории включает водный, болотный, луговой, тугайный и пустынный типы растительности. Однако, преобладает по площади, в основном, пустынная растительность. Значительные по площади территории заняты слабозакрепленнымии и развеваемыми грядово-бугристыми песками, на которых разрежено растут песчаная полынь, житняк сибирский, колосняк гигантский, кусты джузгуна и другие песколюбы (Национальный атлас ..., 2006). Широко распространены биюргуновые (*Anabasis salsa*[3]), кеурековые (*Salsola orientalis*), псаммофитно-терескеновые (*Krasheninnikovia ceratoides, Artemisia terrae-albae, Carex physodes, Atraphaxis replicata*), псаммофитно-кустарниковыми (*Calligonum leucocladum, Astragalus brachypus, Astragalus ammodendron, Salsola arbuscula*), белосаксауловые (*Haloxylon persicum, Carex physodes*) и псаммофитно-кустарниковые (*Calligonum aphyllum, C. leucocladum, Ammodendron conollyi, Astragalus paucijugus*) сообщества*;* местами встречается галофитная растительность, представленная солянкопосниковыми, сарсазановыми и галофитно-кустарниковыми комплексами. На равнинных участках области доминируют многолетние солянковые (*Anabasis salsa, Salsola arbuscula*), типичные полынные (*Artemisia leucodes, A. vulgaris*) фитоценозы, а также встречаются сообщества с доминированием злаков *Agropyron fragile, Stipa hohenackeriana*.

Природной достопримечательностью территории считается долина реки Или, принадлежащая Балкаш-Алакольскому бассейну и выделяющаяся распространением тугайных сообществ. Тугаи образованы несколькими видами деревьев и кустарников, то есть флористически они небогаты, но образуют густые, непроходимые заросли, создающие естественные оазисы в полупустынных и пустынных ландшафтах. Основной древесной породой тугаев является южный тополь туранга, характерный для аллювиальных песчаных и суглинистых почв и такыровидных солончаков пустынных регионов Южного Казахстана. В долине реки Или наиболее распространен вид туранга разнолистная (*Populus diversifolia*). Кроме этого вида, встречаются несколько видов тополей (*P. alba, P. nigra, P. laurifolia*), а также ивы (*Salix trianda, S. viminalis*), лох (*Elaeagnus orientalis*) и тростник (*Phragmites australis*). Они образуют ивово-лоховые, ивово-тураноговые, туранговые и тростниковые тугаи. Камышово-тростниковые заросли в большей степени характерны для дельты реки Или. Здесь иногда встречаются заросли черного саксаула. Пустынно-степные пространства с господством злаков, полыней, солянок, эфедры, терескена, кейреука, астрагалов, песчаной акации используется, главным образом, как пастбища, особенно в северных и западных районах Балхашского района. Однако среди них встречаются и ядовитые растения (18 видов, что составляет около 20% от всех зарегистрированных ядовитых растений в Казахстане). Ядовитыми считают те растения, которые вырабатывают фитотоксины, вызывающие смерть или поражения организма человека и животных даже в незначительных количествах. Помимо безусловно ядовитых, опасность представляют и условно ядовитые, токсичные лишь в отдельных местообитаниях или при определенном воздействии грибов или микроорганизмов. Например, многие астрагалы (род *Astragalus*) становятся ядовитыми, лишь произрастая на почвах с повышенным содержанием селена; токсичность плевела опьяняющего (*Lolium temulentum*) возникает под воздействием паразитирующего на его зернах грибка (*Stromatinia temulenta*). По своему действию ядовитые растения на исследуемой территории затрагивают сердечнососудистую, пищеварительную, нервную, дыхательную и кожно-мышечную системы

[3] Латинские названия растений даны по работе «Ботаническая география Казахстана и Средней Азии (в пределах пустынной области)» (2003).

человека. Выделяются следующие группы растений:

- действующие на центральную нервную систему: *Cicuta virosa, Ranunculus acris, Eranthis sibirica, Papaver rhoeas, Conium maculatum, Nicotiana tabacum*;
- действующие на органы пищеварения и дыхания: *Euphorbia* spp., *Solanum bigrum, Convolvulus arvensis*;
- действующие на сердечно-сосудистую систему: *Adonis vernalis, Vincetoxicum hirundinaria*;
- действующие на печень: *Lupinus polyphyllus, Solidago virgaurea, Senecio vulgaris*;
- действующие на кожу: *Hypericum perforatum, Urtica dioica, Setaria viridis.*

Ядовитые растения издавна используются человеком в Казахстане либо как лекарственные средства (белладонна, мак опийный, наперстянка и др.), либо в охоте или для борьбы с паразитами (белена черная, полынь горькая, чертополох). Однако, в отличие от пищевых, эти растения практически не культивируются, произрастают только в естественных ценозах и определить их видовую принадлежность часто могут только специалисты. Таким образом, опасность отравления ядовитыми растениями в резервате существует и должна приниматься во внимание при планировании и осуществлении рекреационной деятельности.

*Животный мир.* В соответствии с зоогеографическим районированием исследуемая территория относится к Ирано-Туранской провинции Средиземноморской подобласти. Южно-Прибалхашский участок этой провинции, где расположена дельта реки Или, выделяется большим количеством редких и исчезающих птиц (33 вида из 56 занесенных в Красную книгу Казахстана (2006), из которых более половины (19 видов) являются гнездящимися. Прибрежные территории чрезвычайно важны в качестве мест гнездования кудрявого и розового пеликанов, колпицы, савки, белоглазой чернети, орлана-белохвоста, а прилежащие пустынные ландшафты (Сары-Есик-Отрау) – для обитания эндемичного илийского подвида саксаульной сойки, саджи, чернобрюхого рябка. Значение водно-болотных угодий дельты реки Или как мест линьки и остановок птиц во время ежегодных миграций выходит далеко за пределы Казахстана.

Млекопитающие, обитающие в районе исследования, представлены 39 видами, типичными для пустынных и степных ландшафтов: ушастый еж, заяц-песчаник, сайгак, волк, степная лисица корсак, степной кот, а также грызуны-землерои (Афанасьев, 1960). Три вида: перевязка (*Vormela peregusna*), джейран (*Gazell asubgutturo*sa), бледный карликовый тушканчик (*Salpingotus pallidus*) занесены в Красную книгу Казахстана (2006). В тугайных лесах обитает кабан (потенциальная добыча для тигров), косули, фазаны, в плавнях расселяется ондатра. Разнообразно представлены пресмыкающиеся псаммофильного комплекса: ящерицы, змеи, черепахи. Ядовитыми животными помимо змей являются паукообразные: каракурт, тарантул, скорпион. Примерно треть всех млекопитающих (12 видов) участвует в процессе функционирования очагов природных инфекций разных типов и представляет эпидемиологическую опасность для человека (табл.).

Для медико-географической оценки территории резервата «Иле-Балхаш» построена карта существующих природных очагов инфекций, что позволяет комплексно охарактеризовать исследуемую территорию (рис. 2).

Тугайный природный очаг туляремии располагается в тугаях дельты р. Или, где основными носителями являются заяц-толай (*Lepus tolai*) и тамарисковая песчанка (*Meriones tamariscinus*), а переносчиками – клещи рода *Dermacentor* и *Phipicephalus*. Эпидемиологическую опасность представляют также ондатра, большая песчанка и малая белозубка. Большая часть территории резервата попадает в границы Среднеазиатского пустынного очага чумы, где основным носителем природноочаговых инфекций является большая песчанка (*Rhombomys opimus*), а переносчиками – блохи рода *Xenopsylla*. Тонкопалый и желтый суслики, серый хомячок и гребенщиковая песчанка также представляют эпидемическую опасность. На территории резервата находится стационарно неблагополучный пункт по сибирской язве и обитает ряд млекопитающих – потенциальных носителей бешенства. В связи с сельскохозяйственной освоенностью территория характеризуется высоким эпидемическим и эпизоотическим риском по бруцеллезу. Как и в других южных регионах Казахстана, основными носителями бруцеллеза здесь являются овцы. Кроме того, в связи с неблагоприятными тенденциями по африканской чуме свиней в России и Китае, граничащих с Казахстаном, кабана следует также внести в список животных с потенциальной медико-экологической опасностью.

**Таблица.** Млекопитающие, являющиеся носителями и распространителями природноочаговых инфекций.

| Вид животного | Риск заболевания |
|---|---|
| Малая белозубка (*Crocidura suaveolens*) | Туляремия |
| Шакал (*Canis aureus*) | Бешенство |
| Волк (*Canis lupus*) | Бешенство |
| Лисица степная (*Vulpes corsac*) | Бешенство |
| Кабан или дикая свинья (*Sus scrofa*) | Бруцеллез, африканская чума свиней |
| Тонкопалый суслик (*Spermophilopsis leptodactylus*) | Чума |
| Желтый суслик (*Spermophilus fulvus*) | Чума |
| Серый хомячок (*Cricetulus migratorius*) | Чума |
| Тамарисковая песчанка (*Meriones tamariscinus*) | Чума, туляремия |
| Большая песчанка (*Rhombomys opimus*) | Чума, туляремия |
| Заяц-толай (*Lepus tolai*) | Туляремия |
| Ондатра (*Ondatra zibethicus*) | Туляремия, бешенство |

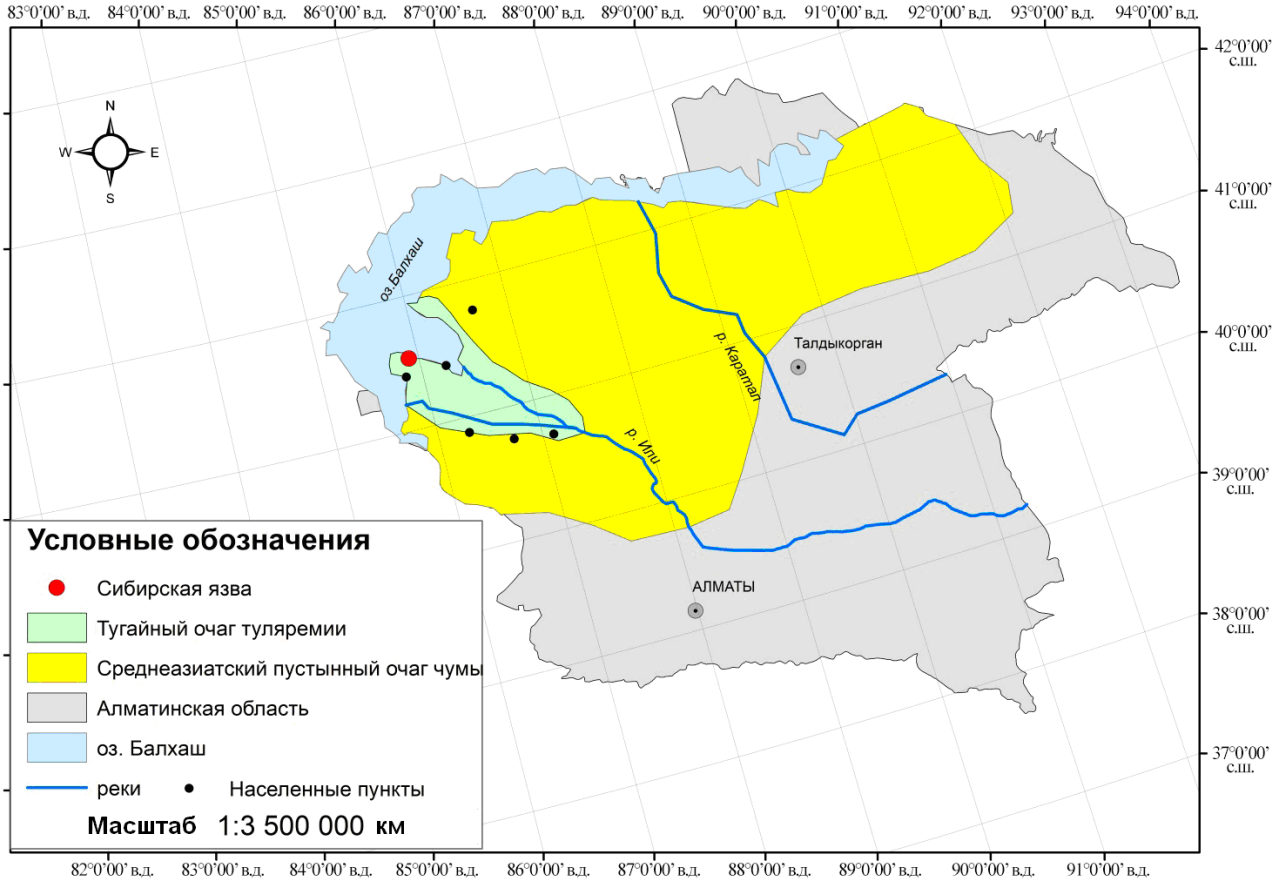



**Рис. 2.** Карта природных очагов чумы, туляремии и сибирской язвы в границах резервата (составлено авторами).

Таким образом, территория природного резервата «Иле-Балхаш» характеризуется эпизоотической и эпидемиологической опасностями в отношении по меньшей мере пяти

природноочаговых инфекций.

Еще одним фактором, влияющим на природную обстановку в резервате, является уровень воды в оз. Балхаш. Это бессточное озеро площадью от 17 до 22 тыс. км$^2$ и глубиной до 26 м. Озеро делится проливом на две части: западную мелководную с более пресной водой, куда впадает река Или, и восточную, более глубокую и солёную (от 3.5 до 6 г/л). Река Или играет важнейшую экологическую роль, поставляя в озеро до 80% всего притока воды. За последние 100 лет уровень озера оставался достаточно стабильным, абсолютные отметки колебались от 340.52 до 343.71 м н.у.м. БС. В 1985 г. его уровень опускался до минимальной отметки 340.68 м н.у.м. БС, в середине 90-х поднялся до 342.50 м н.у.м. БС, а последние десять лет стабильно колеблется между отметками 341.0 и 342.0 м н.у.м. БС с наибольшими показаниями в 1998 и 2016 годах (Крылов, 2014).

Циклические колебания уровня озера Балхаш носят естественный характер. Большинство исследователей связывают эти циклы с таянием ледников, однако не следует забывать и про антропогенную составляющую водного баланса. Чрезмерный забор воды из р. Или может спровоцировать падение уровня в будущем.

Для получения фоновых региональных медико-географических характеристик проведен анализ заболеваемости населения природноочаговыми инфекциями в Алма-Атинской области Казахстана, куда административно относится Балхашский район. Для ее населения характерны пять ведущих нозоформ разной степени проявления: высокий риск заражения туляремией и особенно бруцеллезом (рис. 3, 4), а также случаи заболеваний людей бешенством, клещевым энцефалитом и сибирской язвой.

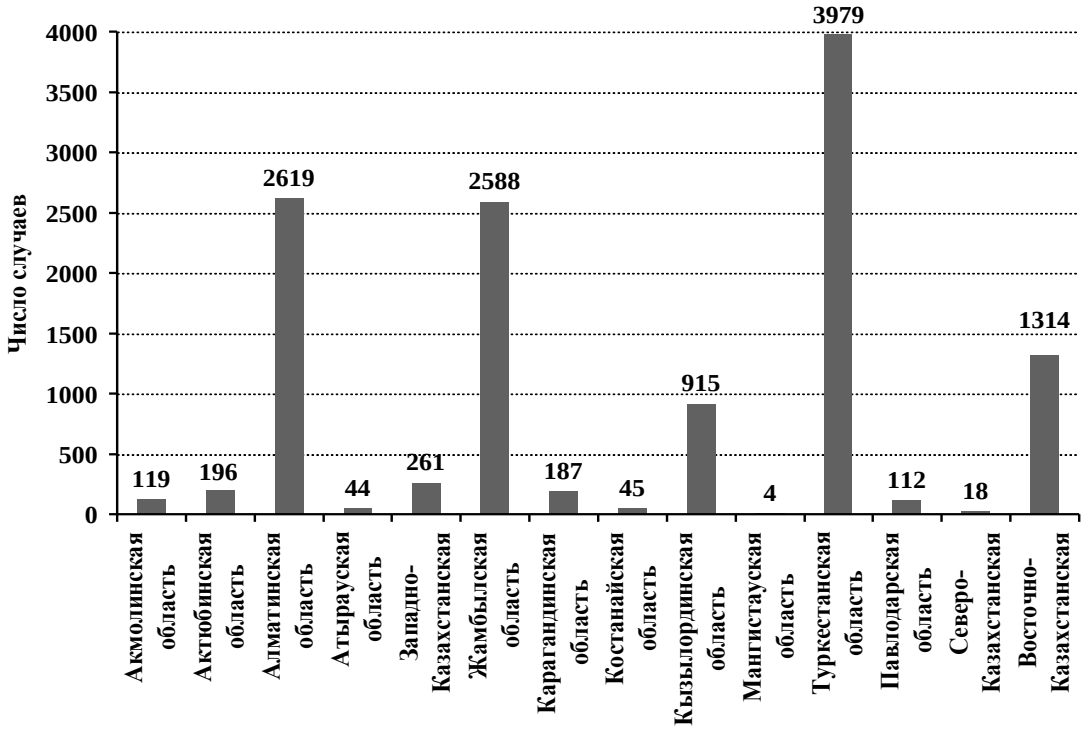



**Рис. 3.** Заболеваемость населения Казахстана бруцеллезом (число случаев в период 2007-2012 гг.).

Итак, фоновая медико-географическая характеристика Алматинской области указывает на существующий здесь высокий риск заболеваемости бруцеллезом, а также туляремией и потенциальную возможность заболеваемости людей бешенством, клещевым энцефалитом и сибирской язвой. Опасности природного характера вытекают из существования предгорно-ручьевого очага туляремии (Избанова и др., 2015) и очагов клещевого энцефалита в Сарканском, Талгарском и Енбекшиказахском районах Алматинской области, а также Кербулакского очага сибирской язвы (Национальный атлас ..., 2006; Лухнова и др., 2014). Выполненная ранее оценка риска природно-очаговых инфекций в национальных парках Казахстана позволяет заключить, что во всех национальных парках Алма-Атинской области («Алтын-Эмель», Чарынский, Иле-Алатауский,

«Кольсайские озера» и Жонгар-Алатауский) существует опасность заболеваний бруцеллезом, бешенством и клещевым энцефалитом. В первых трех есть также риск вспышек сибирской язвы, кроме того, Жонгар-Алатауский и Иле-Алатауский национальные парки могут быть неблагополучны по туляремии, а Чарынский национальный парк – по Крым-Конго геморрагической лихорадке (Дикарева, Королева, 2017). Следует подчеркнуть, что «Алтын-Эмель» планируется соединить экологическим коридором с Караойской зоной заповедного режима природного резервата «Иле-Балхаш». Эти результаты еще раз подчеркивают необходимость оценки природно-обусловленных рисков на всех особо охраняемых природных территориях.

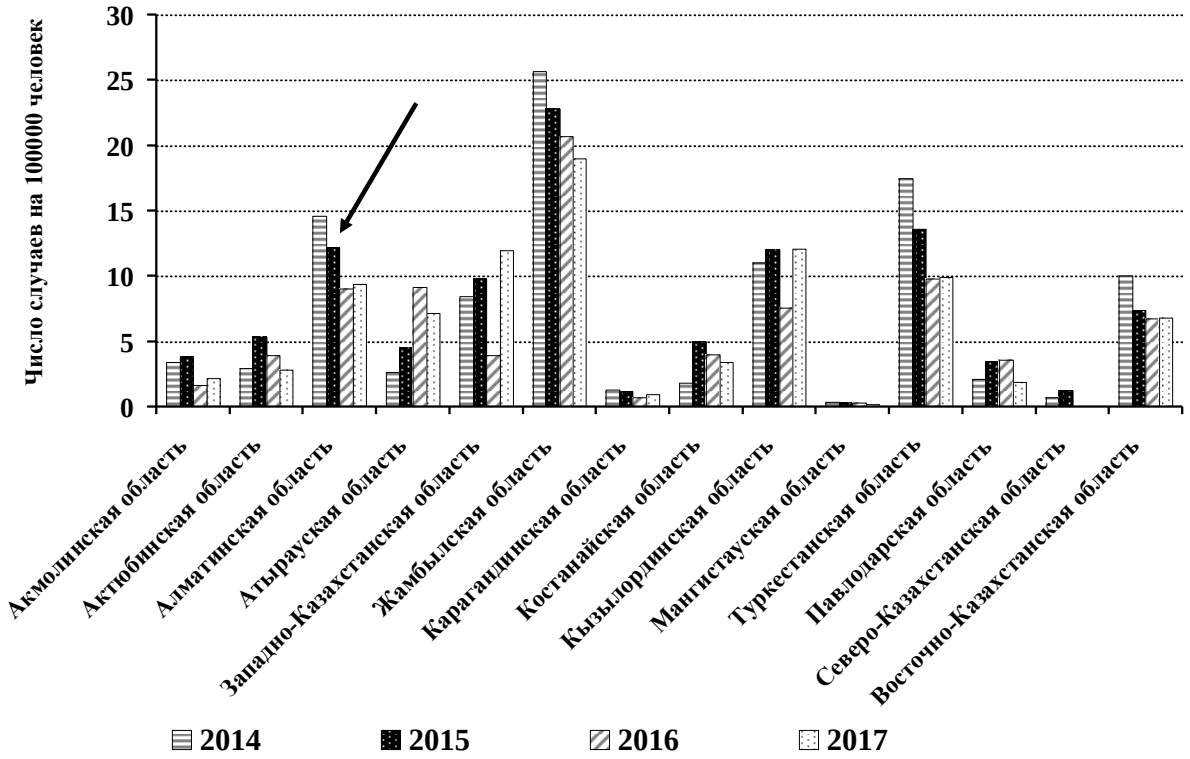



**Рис. 4.** Относительная заболеваемость бруцеллезом (на 100 тыс. человек) в областях Казахстана (2014-2017 гг.).

При анализе заболеваемости населения бронхиальной астмой в Казахстане был выявлен ясно выраженный тренд увеличения больных за 5-летний период и наиболее высокие уровни заболеваемости в Алматинской области и ряде северных областей республики, что может быть связано с широким распространением здесь естественных и интродуцированных древесных видов. В Алматинской области на 100 тыс. человек приходится почти 1600 заболевших. Оказалось, что здесь произрастает максимальное для административной единицы число растений-аллергенов, цветущих в летний период (30 видов или 50% от всех, зарегистрированных в Казахстане). Эти виды разнообразны как по таксономическому составу, так и по экологическим особенностям. В частности, значительное количество родов аридного комплекса представлено семейством Poaceae (рода *Poa, Stipa, Festuca*) и Asteraceae (*Artemisia*). Летний максимум объясняется наложением сроков обильного цветения злаковых, маревых, полынных. Если брать для оценки весь период цветения, то территориями с самыми высокими показателями риска будут 4 области, включая Алматинскую (рис. 5). Рассчитанный индекс аллергенной опасности оказался самым высоким также в этом регионе, причиной чему могут быть как природные, так и антропогенно-обусловленные причины.

Выводы, полученные для всей Алматинской области относительно аллергенной опасности, справедливо экстраполировать на природный резерват «Иле-Балхаш», так как аллергенные растения имеют широкие ареалы и распространены также и на территории резервата.

**Выводы**

Проведенное исследование выявило ряд существующих и ряд потенциальных природо-обусловленных опасностей на территории самого молодого в Казахстане природного резервата «Иле-Балхаш». Медико-географические опасности заключаются в функционировании на его территории природных очагов пяти нозоформ, среди которых туляремия и бруцеллез имеют в регионе высокие показатели заболеваемости людей.

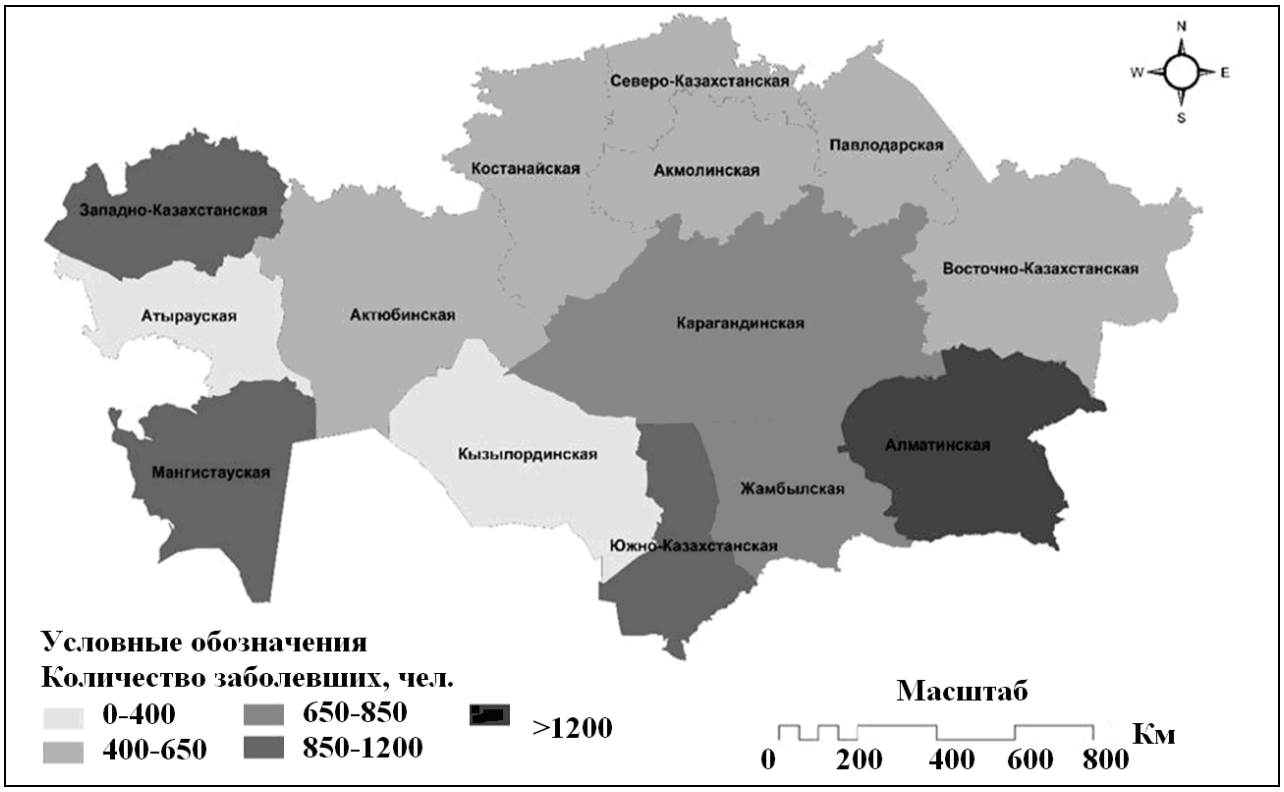



**Рис. 5.** Картосхема «показателя опасности», рассчитанного для населения каждой административной единицы РК (на каждые 100 тыс. человек).

Обитание на территории резервата млекопитающих-носителей природно-очаговых инфекций, а также произрастание здесь значительного числа ядовитых и аллергенно-активных растений ставит на повестку дня необходимость регулярного медико-экологического мониторинга и соотнесение его результатов с планируемыми в ходе экологической реставрации мероприятиями, в частности, касающимися режимов водопользования.

Кроме того, на этом примере мы постарались показать необходимость медико-географических исследований на этапе подготовки любых экологических проектов на особо охраняемых природных территориях. К подобным оценкам и прогнозам необходимо приступать как можно раньше, что позволит значительно сократить издержки на устранение и минимизацию природно-обусловленных рисков.

Представленная методологическая схема оценки природно-обусловленных опасностей может быть применена и для других аридных территорий и регионов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Афанасьев А.В.* 1960. Зоогеография Казахстана (на основе распространения млекопитающих). Алма-Ата: Издательство академии наук Казахской ССР. 261 с.

Большой Атлас Казахстана. 2011. М.: ИПЦ «Дизайн. Информ. Картография». 888 с.

Ботаническая география Казахстана и Средней Азии (в пределах пустынной области). 2003. Санкт-Петербург. 424 с.

*Воронов А.Г.* 1981. Медицинская география. Общие вопросы. Вып. 1. М.: МГУ. 162 с.

*Воронов Г.А., Оборин М.С., Малхазова С.М., Гаврилова И.Н.* 2015. Экология человека с основами медицинской географии. Пермь: ПГНИУ. 329 с.

Геологическая карта Казахстана. 1998. Масштаб 1:1000000 / Ред. Р.А. Сегедин, Ю.М. Ким, Р.М. Антонюк, М.С. Гранкин, И.А. Ротараш, И.К. Краснобородкин. 10 л. [Электронный ресурс: http://neotec.ginras.ru/neomaps/M010_Kazakhstan_1998_Geology_Geologicheskaya-karta-kazahstana.html (дата обращения 14.02.2019)].

*Дикарева Т.В., Королева Е.Г.* 2017. Фоновая медико-географическая оценка регионов с высоким потенциалом экологического туризма в республике Казахстан // Аридные экосистемы. Т. 23. № 3 (72). С. 42-50. [*Dikareva T.V., Koroleva E.G.* 2017. Background medical-geographical assessment of regions with high environmental tourism potential in the Republic of Kazakhstan // Arid Ecosystems. Vol. 7. No. 3. P. 155-160.]

*Дикарева Т.В., Румянцев В.Ю.* 2015. Картографический анализ распространения растений-аллергенов в России // Вестник Московского университета. Серия 5. География. № 6. С. 34-40.

*Избанова У.А., Куница Т.Н., Мека-Меченко Т.В., Лухнова Л.Ю.* 2015. Перспективы использования географической информационной системы для мониторинга за природными очагами туляремии в Казахстане // Медицина. № 6. С. 12-16.

Карта общего сейсмического районирования территории Казахстана. 2010. Масштаб 1:5000000 // Национальный атлас Республики Казахстан. Т. 1: Природные условия и ресурсы. Алматы. 150 с.

Концепция устойчивого развития Или-Балхашского бассейна. 2000. 20 с. [Электронный ресурс: www.cawater-info.net/bk/water_law/pdf/concept-ili-balkhash.pdf (дата обращения 14.02.2019)].

*Королева Е.Г.* 2016. Био-геоанализ в экологии человека. Изд-во Lambert Academic Publishing. 85 с.

Красная Книга Казахстана. Казакстаннын Кызыл Кітаби. Алма-Аты. 2006. 550 с.

*Крылов П.С., Нургалиев Д.К., Ясонов П.Г.* 2014. Об истории развития озера Балхаш (Казахстан) по сейсмоакустическим данным // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. Кн. 1. С. 128-136.

*Лухнова Л.Ю., Пазылов Е.К., Избанова У.А., Сармантаева А.Б.* 2014. Усовершенствование методов идентификации штаммов возбудителя сибирской язвы и их дифференциация от атипичных и близкородственных микроорганизмов // Медицина. № 3. С. 27-30.

*Малхазова С.М., Королева Е.Г.* 2011. Окружающая среда и здоровье человека. Учебное пособие. М.: Географический факультет МГУ. 150 с.

Министерство здравоохранения Республики Казахстан. 2019. [Электронный ресурс: www.mz.gov.kz (дата обращения 12.03.2019)].

Министерство национальной экономики Республики Казахстан. 2019. Комитет по статистике [Электронный ресурс: www.stat.gov.kz (дата обращения 12.03.2019)].

Национальный атлас Республики Казахстан. 2006. В 3-х томах. Алматы: Институт географии. Т. 1. 125 с.; Т. 2. 127 с.; Т. 3. 153 с.

*Павлинов И.Я., Крускоп С.В., Варшавский А.А., Борисенко А.В.* 2002. Наземные звери России. Справочник-определитель. М.: Т-во науч. изданий КМК. 304 с.

Постановление Правительства Республики Казахстан от 27 июня 2018 года № 381. 2018. [Электронный ресурс: https://online.zakon.kz/document/?doc_id=37921962 (дата обращения 28.12.2018)].

*Султанова Б.М., Рачковская Е.И., Иващенко А.А., Березовиков Н.Н., Евстифеев Ю.Г., Грюнберг В.В., Малахов Д.В., Кертешев Т.С., Белгубаева А.Е.* 2012. Биологическое разнообразие проектируемого Иле-Балхашского природного резервата // Вестник КазНУ. Вып. 33. № 1. [Электронный ресурс: http://bulletin-ecology.kaznu.kz/index.php/1-eco/article/view/391 (дата обращения 21.02.2019)].

*Чучалин А.Г.* 1985. Бронхиальная астма. М.: Медицина. 160 с.

Atlas of Bacterial and Virus Zoonotic Infections Distribution in Kazakhstan. 2010. Almaty, Kazakhstan: M. Aikimbayev´s KSCQZD. 122 p.

*АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2019, том 25, № 4 (81), с. 71-81*

**ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ**

*УДК 631.95*

# ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ПОТЕРЬ ПРОДУКТИВНОСТИ АРИДНЫХ ПАСТБИЩНЫХ ЭКОСИСТЕМ САРПИНСКОЙ НИЗМЕННОСТИ[1]

**© 2019 г. М.В. Власенко, А.К. Кулик, А.Н. Салугин**

*Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН Россия, 400062, г. Волгоград, Университетский просп., д. 97. E-mail: vlasencomarina@mail.ru*

Поступила в редакцию 09.04.2018. После доработки 21.12.2018. Принята к публикации 15.01.2019.

Проведен мониторинг пастбищных экосистем полупустынной зоны России в границах Сарпинской низменности и выявлены проблемные региональные вопросы. Экспериментальные данные были получены в 1999-2017 гг. Установлено, что современное состояние агроландшафтов критическое. На долю деградированных пастбищ приходится более 600 тыс. га (34%), где более половины находится в сильной степени деградации. Из общей площади кормовых угодий региона (около 1870 тыс. га) умеренно сбиты 35-40%, сильно сбиты 30-40%, исключены из сельскохозяйственного использования и превратились в сбитые пески и заброшенные земли 15-20%. Наибольшей стадии дигрессия достигает на зимних (круглогодичных) пастбищах. Площадь открытых и подвижных песков увеличилась до 20-30%. Нагрузки на пастбищные угодья в некоторых районах превышают оптимальный показатель в 5-7 раз. Практически все пастбищные угодья нуждаются в отдыхе и проведении агромероприятий по восстановлению. Серьезной экологической проблемой региона является опустынивание в форме засоления, эрозии и дефляции. Потери продуктивности пастбищ в результате опустынивания в регионе составляют 1052.7 тыс. центнеров кормовых единиц (ц.к.ед.) в год. Агролесомелиоративные мероприятия имеют большое значение для предотвращения эрозии и дефляции почв и рассматриваются как многофункциональный, долговременный фактор охраны окружающей среды. Для получения максимального эколого-экономического эффекта от лесомелиорации была составлена карта лесорастительных условий согласно лесомелиоративной классификации, отражающей природные характеристики территории и особенности ее лесомелиоративного освоения.

*Ключевые слова:* опустынивание; дефлированность; эродированность; засоленность; пастбища; потери годичной продуктивности.

**DOI: 10.24411/1993-3916-2019-10075**

Аридные регионы занимают около 30% земной суши и имеют чрезвычайно важное народнохозяйственное значение, располагая значительным природно-ресурсным потенциалом. В настоящее время воздействие человека на природу в таких зонах столь значительно, что сохранение и восстановление среды, как систем жизнеобеспечения человека, стала важнейшей социально-экономической задачей. Активная и неразумная антропогенная деятельность создает реальную угрозу нарушения экологического равновесия, приводит к опустыниванию. Опустынивание – превращение плодородных земель в пустыню в результате антропогенного воздействия (Aubreville, 1949). Это крайне обостряет проблемы продовольствия, кормов, воды, вызывает глубокие изменения экосистемы.

[1] Финансирование исследований осуществлялось Всероссийским НИИ агролесомелиорации в рамках темы «Разработать систему и технологии адаптивного лесоагарного природопользования на хрупких аридных территориях с целью реализации Национальной программы действий по борьбе с опустыниванием в условиях временной и пространственной динамичности климата и стихийных явлений», а также Прикаспийским НИИ аридного земледелия в рамках тем «Разработать систему и технологии комплексной агрофитомелиорации деградированных залежных пахотных земель и пастбищных угодий» и «Разработать агроэкологические приемы управления восстановительными сукцессиями на сенокосах и пастбищах и технологии производства различных видов кормов в луговом кормопроизводстве».

Накопление фитомассы на аридных пастбищах определяется фотосинтетической радиацией и коэффициентом ее использования, биологическими особенностями вида, температурно-влажностным режимом вегетационного периода, почвенным плодородием, интенсивностью стравливания (Турко, Трубакова, 2018).

Засушливые земли имеют неустойчивые экосистемы, легко разрушаемы при чрезмерном выпасе скота. Изучение влияния выпаса бизонов и КРС (крупный рогатый скот) на растительность канзасских прерий (североамериканская формы степи на Среднем Западе США и Канады) показало следующую реакцию травянистых растений на выпас скота: в течение первых нескольких лет выпаса наблюдается снижение обилия и разнообразия, особенно злаков, вегетирующих весной и осенью − *Poa gratensis, Agropiron smithii,* некоторых трав *Aster ericoides, Oxalis strica* (Weaver, Hansen, 1941; Weaver, 1968; Voigt, Weaver, 1951; Dyksterhuis, 1958). Доминирующие виды, вегетирующие летом (*Solidago missourensis*), сокращают свое присутствие, что объясняется различием в поведении животных, и тем, что выпас домашних животных регламентируется человеком (Hartnett et al., 1996).

Общая площадь опустыненных территорий в мире по экспертным оценкам ежегодно увеличивается на 6 млн. га. В России деградация особенно интенсивно протекает и достигает самого высокого уровня на пастбищах полупустынной зоны, так как аридные пастбищные экосистемы используются круглогодично. Большую роль в опустынивании Российских пастбищ играет нерегулируемый выпас овец и коз. При среднем весе овцы 50 кг давление копыт составляет 1 кг/см$^2$. Стадо овец в 50 голов, проходя в день около 10 км, оставляет за собой следы на площади около 1 га, и на каждый 1 см$^2$ степи давит силой 2 кг. Это похоже на то, что шеренга из 30 танков четырехкратно прошла степь в одном и другом направлении (Мордкович, 1982). При выпасе овец из-за скученности стада растительность стравливается и вытаптывается интенсивнее, чем при выпасе КРС, поэтому процессы разрушения естественного травостоя и разбивания верхнего горизонта почвы идут быстрее.

Изъятие биомассы при выпасе скота на аридных пастбищах в пределах 1/3-2/3 высоты травостоя ведет к неизбежной деградации растительной массы. При этом травостой полностью не восстанавливается к концу вегетации. И чем больше изымается биомассы, тем более долгим будет восстановление (Турко, 2018).

Нерегулируемый выпас скота, снижение биоразнообразия пастбищ, преобладание мелкого рогатого скота в структуре поголовья и другие причины могут спровоцировать появление новых крупных очагов опустынивания, способных вызвать в регионе катастрофические последствия.

Решение проблем кормопроизводства актуально, направлено не только на восстановление животноводства (одной из важнейших отраслей сельского хозяйства, тесно связанной с проблемами рационального использования, экологии и состояния пастбищ и лугов), но и может стать мощным буфером в противостоянии опустыниванию и засухам.

*Целью исследований* является оценка биоэкологического потенциала аридных пастбищных экосистем, выявление степени и причин деградационных процессов, происходящих в них.

*В задачи исследований* входило решение следующих задач: выявление доли сбитых, закустаренных и засоренных ядовитыми видами трав пастбищ, анализ нагрузки на кормовые угодья сельскохозяйственных животных (условных голов на гектар), определение доли засоленных земель (слабо-, средне- и сильно), индексов дефлированности и эродированности пастбищ, выявление потерь годичной продуктивности кормовых угодий по административным районам и в целом по региону.

## Методы исследований

Мониторинг пастбищных экосистем полупустынной зоны РФ проводился в границах Сарпинской низменности. В результате исследования были составлены тематические карты по лесорастительным условиям, засоленности, дефлированности и эродированности угодий, определяющие агроэкологию региона исследования (Кулик, 2007).

Карта лесорастительных условий составлена согласно лесомелиоративной классификации, отражающей природные характеристики территории и особенности ее лесомелиоративного освоения с максимальным эколого-экономическим эффектом. В соответствии с ней лесомелиоративные типы (ЛМТ) пастбищ отличаются по обеспеченности физиологически доступной влагой создаваемых насаждений. В полупустынной зоне это: а – доступные грунтовые воды (ГВ), б – ограниченно

доступные ГВ, в – перераспределенные атмосферные осадки (поверхностный сток, снегонакопление) и орошение, г – территории лишенные источников увлажнения (табл. 1).

**Таблица 1.** Лесомелиоративные типы (ЛМТ) пастбищ (Кулик , 2004; Петров, 1981).

| | |
|---|---|
| **Доступные ГВ (ЛМТ а)** | Грунтовые воды доступны при уровне 3-4 м на песчано-галечниковых отложениях, однофазных отложениях крупнозернистого песка, 4-6 м на однофазных среднезернистых песках, 6-8 м на однофазных мелко-зернисто-пылеватых песках, 8-12 м на средне- и мелкозернистых песках с прослойками супеси и суглинка, 12-14 м на супеси, суглинках. Минерализация грунтовых вод не более 0.5-1 г/л во время закладки насаждений. Рост насаждений на территориях ЛМТ а не вызывает больших изменений солевых характеристик почвогрунтов и грунтовых вод, а таксационные показатели и долговечность насаждений определяются биологическими возможностями породы. |
| **Ограниченно доступные ГВ (ЛМТ б)** | Грунтовые воды ограниченно доступны при наличии тех же условий, что и для ЛМТ а, но их минерализация превышает 0.5-1 г/л. Рост насаждений на таких территориях сопровождается соленакоплением в почвогрунтах и грунтовых водах, что ведет к их усыханию, когда средневзвешенное солесодержание в капиллярной кайме достигает определенных для каждой породы пределов. |
| **Перераспределенные атмосферные осадки и орошение (ЛМТ в)** | Пастбища на землях с недоступными грунтовыми водами и с дополнительным увлажнением за счет стока, равнинные пастбища в районах, где число дней со снежным покровом не менее 50-60 дней, относят к ЛМТ в. Долговечность и таксационные показатели насаждений зависят от количества перераспределенной влаги. Они всегда выше, чем на пастбищах ЛМТ г. |
| **Территории, лишенные источников увлажнения (ЛМТ )** | Грунтовые воды недоступны, если их уровень превышает пределы, указанные для доступных грунтовых вод; независимо от уровня и минерализации грунтовых вод солесодержание в капиллярной кайме превышает общеизвестные для каждой породы пределы; в зоне аэрации имеются экранные горизонты. На площадях с недоступными грунтовыми водами в районах со среднегодовой суммой осадков <300-350 мм древесные насаждения гибнут в возрасте 7-12 лет, если отсутствует дополнительное увлажнение (сток, снегонакопление). Кустарники и полукустарники изреживаются и гибнут при среднегодовой сумме осадков <200-250 мм и при существовании снежного покрова до 50-60 дней. В таком случае пастбища относят к ЛМТ г. |

Основой гидрогеологического дешифрирования является взаимосвязь между рельефом и гидрогеологическими характеристиками, что дает основание для нахождения индикаторных признаков гидрогеологических условий, используемых для опознания на космических снимках местоположений с различной глубиной залегания ГВ, и прогнозирование их на весь регион исследования.

Для выделения ЛМТ на пастбищах брались сведения о глубине залегания и минерализации ГВ, т.к. солевые характеристики зоны аэрации тесно связаны с минерализацией грунтовых вод (МГВ), а экранирующий эффект солонцового и импермацидного[2] горизонтов может быть снят специальными приемами подготовки почвы. Материалы о глубине и минерализации ГВ выбирались из тематических карт и схем, составленными различными водохозяйственными организациями. При работах на профилях были выявлены дешифровочные признаки глубины залегания ГВ, мощности незасоленного верхнего слоя почвогрунта, наличие или отсутствие плотных отложений кварцевого песка и других

[2] Импермацидный горизонт (термин введен Г.Н. Высоцким) – слой появы или грунта с постоянной низкой влажностью, близкой к влажности устойчивого завядания, не промачиваемый влагой атмосферных осадков; встречается в почвах лесостепной, степной и более сухих зон, обладающих водным режимом непромывного типа (прим. авт.).

экранных горизонтов. При картировании выявлялись признаки модификаций ЛМТ, на основании этих признаков выделялись ЛМТ и наносились их границы. Правильность нанесения границ ЛМТ контролировалось полевым контролем. При дешифрировании применялись аэрокосмические фотоснимки (АКФ) с использованием программы SASPlanet. Выбор осуществлялся на основе отсутствия помех (облачность, недостаточное качество полученного изображения с низким разрешением) при соответствии спектрального диапазона снимка и объекта исследования. Полученные космоснимки были трансформированы в необходимую проекцию для дальнейшей обработки. Было проведено поконтурное дешифрирование космоснимков с помощью программы Photoshop CS6. Чем ближе к поверхности почвы залегают ГВ, тем активнее развивается естественная растительность (гидрофиты и фреатофиты), что является хорошими дешифрировочными признаками и обуславливает интенсивный темный фон изображения на снимках. ГВ в таких местах залегают на глубине 0-6 м. Пески различной степени зарощенности с глубиной ГВ 6-12 м дешифрируются по светло-серому и серому тону изображения и ячеистому рисунку. При залегании УГВ более 12 м на бугристых сположенных[3] песках с преобладанием омброфитной растительности (ложные ксерофиты) на снимках выявляется однородный темно-серый фон фотоизображения (Кулик, 2004).

Карта индексов дефлированности и эродированности пастбищ составлена на основе расчета индексов деградации (ИД), отражающих по 100-балльной шкале пораженность территории определенной формой деградации. ИД находится как отношение пораженной территории (га) к общей площади территории (га), умноженное на 100. Чем больше показатель ИД, тем значительнее площадь территориальных массивов деградации. Метод обеспечивает сопоставимость и объективность оценок земель различных категорий по характеру и степени их опустынивания в разных формах проявления (Павловский, Кулик, 1999).

Потери годичной продуктивности (ПГП), связанных с деградацией угодий, оценивались по формуле (Кулик и др., 2001):

$$ПГП=Б•Исо•0.5•П ,$$

где Б – бонитет угодий оцененных в ц.к.ед., Исо – индекс степени опустынивания (0.05 – слабая, 0.30 – средняя, 0.70 – сильная), 0.5 – коэффициент пересчета, П – площадь угодья в га.

## Результаты и их обсуждение

Сарпинская низменность является частью Северо-Западного Прикаспия. Ее территория ограничивается с востока Волго-Ахтубинской поймой, с запада – Ергенинской возвышенностью, южная граница проходит по нулевой отметке Прикаспийской низменности (рис. 1). Несмотря на кажущееся однообразие здесь нет и 20 км$^2$, в границах которых природные условия были бы идентичны. При однотипности почв наблюдается разный водный режим, при одинаковом водном режиме – разная растительность и т.п. Такую неоднородность экосистем необходимо учитывать.

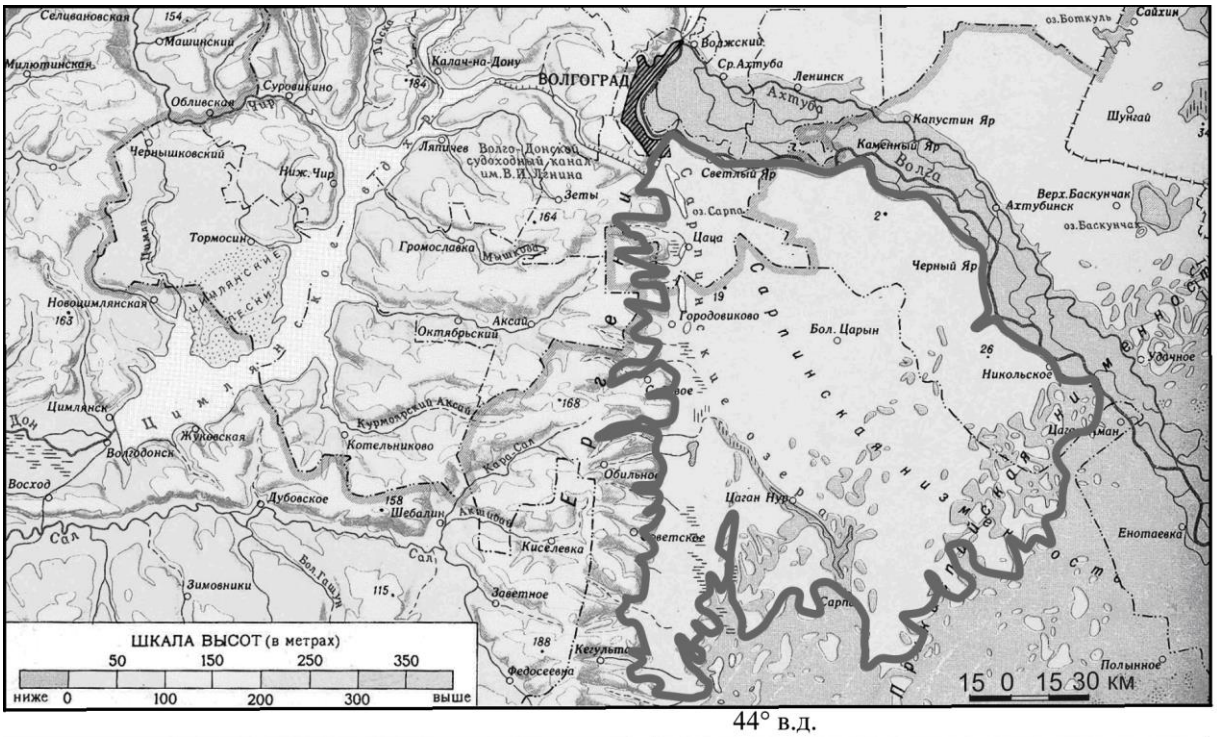
Район характеризуется резко континентальным климатом, где ярко проявляется антициклонический режим погоды. В южных районах выпадает 150-210 мм, в северных – до 250-350 мм осадков. Экстремальность климатических условий низменности определяет неблагоприятное соотношение тепла и влаги гидротермический коэффициент Селянинова – 0.3-0.4. В отдельные годы этот коэффициент существенно изменяется.

В административном отношении здесь размещены Светлоярский р-н (с южной окраины г. Волгограда) Волгоградской области; Малодербетский, Кетченеровский, Октябрьский и Сарпинский районы Республики Калмыкия; Черноярский и северная часть Енотаевского районов Астраханской области (3.7 млн. га). Наибольшую долю в структуре сельскохозяйственных земель Сарпинской низменности составляют пастбища (около 1870 тыс. га), которые обеспечивают содержание более 800 тыс. овец и 150 тыс. КРС.

На естественных пастбищах региона встречается 256 видов растений из 173 родов, 48 семейств (Степнин, 1962). Здесь потенциально может произрастать большее количество пригодных для кормопроизводства видов (Дурдусов и др., 2003). Однако, перевыпас скота негативно сказался на продуктивности кормовых угодий. С середины до конца 1960-х гг. в регионе доминировали злаковые ассоциации. Видовой состав фитоценозов, реагируя на антропогенные воздействия при

[3] Сположенные пески – пески, находящиеся на пологих склонах (прим. авт.).

непосредственном или опосредованном влиянии комплекса факторов, в 1970-е гг. сменился на бело- и чернополынные ассоциации, т.к. по экологическим, биологическим и геохимическим особенностям под воздействием перевыпаса полыни способны вытеснять коренные злаковые фитоценозы (Дзыбеков, 2001). При увеличении сбоя сукцесионные изменения привели к смене полынников на эбелековые сообщества. Большая часть современных пастбищ представлена малоценными ядовитыми или малопоедаемыми видами: *Xanthium strumarium, Ceratocarpus arenarius* и др. Их доминирование также спровоцировал неумеренный выпас, нарушающий коренные сообщества (Опарин и др., 2004).




①- Светлоярский район,②- Черноярский район,③- Енотаевский район,
④- Октябрьский район,⑤- Малодербетский район,⑥- Кетченеровский район,
⑦- Сарпинский район

**Рис. 1.** Географическое положение и рельеф Сарпинской низменности.

Из общей площади кормовых угодий региона умеренно сбиты 35-40% пастбищ, 30-40% – сильно сбиты, 15-20% пастбищ исключены из сельскохозяйственного использования и превратились в сбитые пески и заброшенные земли. Максимальная деградация пастбищ выявляется в припоселковых и прифермских пастбищах (Власенко, 2011). Наибольшей стадии дигрессия достигает на зимних (круглогодичных) пастбищах. На песчаных пастбищах в последние несколько десятилетий площадь открытых и подвижных песков увеличилась с 5-10% до 20-30%. Наиболее сбиты пастбища Малодербетовского и Октябрьского районов. Закустаренные тамариксом кормовые угодья по региону составляют 422 тыс. га (23%). Засорены ядовитыми и вредными травами 4-10% площади пастбищ (Власенко, 2014). Все это снижает кормовую ценность пастбищ и говорит о сильной деградации территории (табл. 2).

Проблема опустынивания в настоящее время для данной территории приобрела особую актуальность, т.к. совокупность отрицательных факторов нерационального природо-, земле- и пастбищепользования наносит значительный ущерб аридным территориям и приводит к превращению их в малопригодные для ведения хозяйства, что негативно отражается на качестве жизни населения.

Качественное состояние и продуктивность пастбищ обусловлена составом и состоянием растительного покрова, где главную роль играют морфометрические характеристики компонентов растительных ассоциаций, проективное покрытие. Сбой травостоя, выражаемый величиной проективного покрытия, определяется интенсивностью нагрузок на пастбище при выпасе и отражает степень антропогенной деградации пастбища.

**Таблица 2.** Экологическое состояние пастбищ Сарпинской низменности, в % (Власенко, 2014).

| Районы | Нагрузка, усл. гол./га | Сбитые, % | Закустарены >10% | | Засорены травами >3% | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | средне | сильно | ядовитыми | вредными |
| Кетченеровский | 0.9-1.2 | 41.0 | – | 24.6 | 8.6 | 8.0 |
| Малодербетский | 0.9-1.3 | 51.2 | 1.6 | 16.9 | 5.8 | 4.3 |
| Октябрьский | 0.6-1.1 | 47.1 | – | 21.0 | 9.7 | 9.2 |
| Сарпинский | 1.3-1.5 | 39.3 | – | 15.5 | 6.5 | 6.5 |
| Черноярский | 1.4-1.5 | 40.5 | – | 28.1 | 9.3 | 7.5 |
| Енотаевский | 0.8-1.0 | 41.7 | 0.7 | 17.1 | 6.2 | 7.7 |
| Светлоярский | 0.6-0.9 | 23.0 | 1.8 | 10.3 | 4.8 | 6.7 |

Превышенная нагрузка скота на пастбищные угодья отмечается на всей территории Сарпинской низменности. Особенно критична она в Сарпинском и Черноярском районах (до 1.5 усл. гол./га) и превышает областной показатель в 2-3 раза. Участки сбитых пастбищ имеют очаговый характер в местах с преобладанием почв легкого гранулометрического состава. Отмечается образование больших массивов открытых песков. Интенсивный выпас скота привел к ухудшению состояния пастбищной растительности. Практически все пастбищные угодья нуждаются в отдыхе и проведении агромероприятий по восстановлению (Власенко и др., 2014).

Прогнозирование смены изменений фитоценозов – важная задача управления пастбищами. Под воздействием перевыпаса происходит изменение растительного покрова и среды обитания. Смены растительных сообществ при перевыпасе скота могут сопровождаться нарушением экосистем и опустыниванием. При этом смена сообществ может быть обратимой, если среда обитания не нарушена (демутация). Если среда обитания нарушена, то восстановление растительного покрова затягивается, формируются новые сообщества, сильно отличающиеся от произрастающих до сбоя. Обратимые смены сообществ не нарушают саморегуляции в экосистемах при выпасе и сенокошении и носят временный характер.

Восстановление пастбищной растительности идет медленными темпами. Зарастание вторичной травянистой растительностью происходит постепенно и малопродуктивными видами (мятлик луковичный, полынок, камфоросма и пр.), и залежные участки десятки лет не используются как продуктивные пастбища, представляют собой резерв потенциальных кормовых угодий при условии их заселения пастбищными видами.

Улучшить экологию среды и увеличить объемы дешевых кормов возможно путем рационального использования пастбищ. Для оптимизации пастбищных нагрузок применительно к Сарпинской низменности рекомендуется предельно допустимое поголовье скота, которое безопасно для травостоя, на всех типах пастбищ при обеспеченности кормами 80-100% – 0.3 усл. гол./га, при обеспеченности кормами <80% нагрузка − 0.25 усл. гол./га, при обеспеченности кормами <50% – 0.2 усл. гол./га (Власенко, 2014).

Выявляя факторы, лимитирующие продуктивность и экологическое состояние пастбищных экосистем региона исследований, следует раскрыть его природный потенциал. Сарпинская низменность представляет собой равнину с падинами глубиной до 1.5 м и ложбинами, по которым весной направляются сточные воды. Дно низменности по отношению к окружающей равнине понижено на 10 м. Борта сложены хвалынскими глинами и суглинками. Наиболее крупная ложбина – Кривая Лука (120 км). Рельеф равнинный, сформирован под влиянием нижнехвалынской трансгрессии Каспия, соляной тектоники и миграции древних волжских рукавов. Грунтовые воды залегают в ложбинах и понижениях на глубине 2-3 м, в остальной части – 3-10 м, на повышенных участках – на глубине >20 м. Минерализация воды увеличивается к юго-востоку – до 20 г/л. Высокоминерализованные воды имеют спорадическое распространение. Воды гидрокарбонатно-натриевого состава преобладают, реже встречаются хлоридно-натриевые.

Интенсивное использование малопродуктивных земель в регионе приводит к нарушению стабильности экосистем, прогрессирующему опустыниванию в форме дефляции, засоления и эрозии. Серьезной экологической проблемой является почвенное засоление (рис. 2).

Доля засоленных сельскохозяйственных угодий в общей площади засоленных сельскохозяйственных угодий РФ составляет: в Республике Калмыкия – 31.9%, в Волгоградской области – 16.2%, в Астраханской области – 10.3%. В Светлоярском, Черноярском, Енотаевском и Кетченеровском районах засолено до 50% сельхозугодий, в Октябрьском, Малодербетском и Сарпинском районах – до 70%. Наибольший процент засоленных пастбищных земель отмечается в Малодербетском районе, наименьший – в Енотаевском районе. Средне- и слабозасоленные пастбища сконцентрированы в северной части, а сильнозасоленные – в центральной и южной частях Сарпинской низменности.

Причина засоления почвы – генезис территории, имеющей засоленные почвообразующие породы, а там, где ГВ расположены на глубине 3-4 м, – вторичное засоление почв путем перемещения соли через систему капилляров к верхним слоям почвы. Степень засоленности почвы и характер распределения солей по профилю оказывают большое влияние на состав и структуру растительного покрова: на светло-каштановых почвах доминируют белополынно-ковыльные ассоциации, на солонцах глубоких и средних – белополынные, на солонцах мелких и корковых – чернополынные. При значительной степени засоления почвы или лишены растительности, или покрыты специфической растительностью (солянки и солевыносливые злаки).

Регион является опасным в дефляционном отношении (рис. 3).

Прогрессирующее нарастание эрозионных процессов связано с тем, что противоэрозионные мероприятия, обеспечивающие ликвидацию, предупреждение, замедление эрозионных процессов и восстановление плодородия эродированных земель в настоящее время не проводятся. В Светлоярском районе водной эрозии подвержено 20.4 тыс. га пастбищ. В Черноярском и в северной части Енотаевского района находится 53 тыс. га оврагов, развитие которых связано с влиянием стока вод на участки с уклоном в сторону рек Волга и Ахтуба.

Деградация и истощение почв региона выражается в уменьшении содержания гумуса в верхнем (пахотном) слое до 1.00% на 85% сельскохозяйственных угодий, что соответствует кризисной экологической ситуации. Ухудшение экологической ситуации в регионе связано с разрушением почвенного покрова при сильных пыльных бурях, при которых выносится до 20-22 т мелкозема с гектара, что превышает допустимый уровень потерь − 2-3 т/га в год (Кулик, 2007). Процессы ветровой эрозии (дефляции) зависят: от направления движения воздушных потоков, их скорости, повторяемости, температуры и влажности воздуха; состава почвы; состояния поверхности почвы, ее устойчивости к дефляции; вертикальной расчлененности рельефа, состава пород, положения форм и элементов рельефа к господствующим ветрам; задернованности и лесистости; типа использования земель.

В Астраханской области дефляции подвержено 2031.2 тыс. га земель, где на сбитых скотом пастбищах с изреженной растительностью образовалось 539 тыс. га развеваемых песков. На 579.9 тыс. га дефляционно-опасных земель Астраханской области сельскохозяйственные угодья занимают 333.8 тыс. га. Наиболее активно процессы идут в Харабалинском, Енотаевском, Красноярском и Наримановском районах (Власенко, 2014).

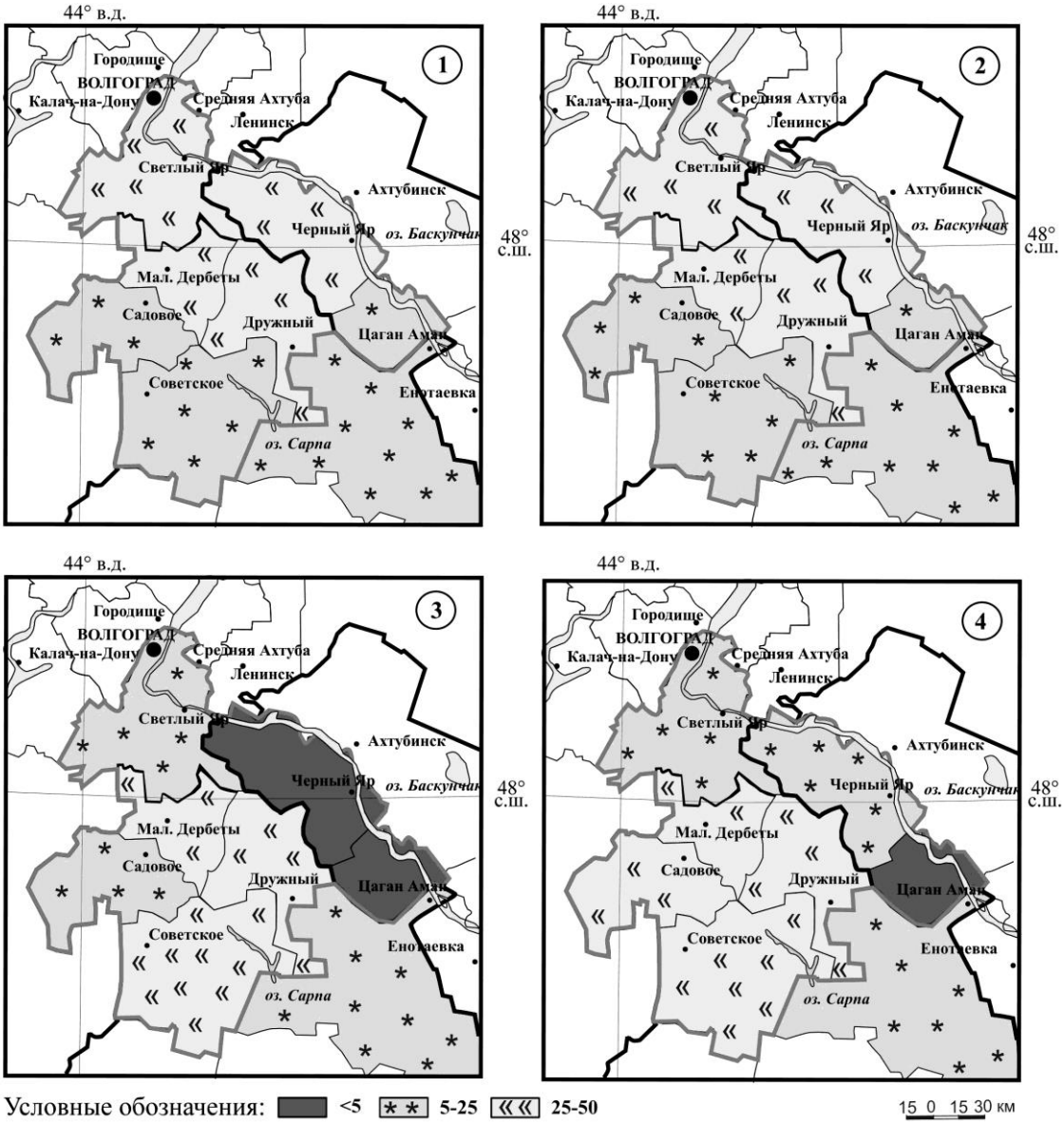



**Рис. 2.** Доля засоленных земель, в %. *Условные обозначения:* 1 – слабо- и среднезасоленные земли в сельскохозяйственных угодьях, 2 – слабо- и среднезасоленные земли в пастбищах, 3 – сильнозасоленные (включая солончаки) земли в сельскохозяйственных угодьях, 4 – сильнозасоленные (включая солончаки) земли в пастбищах.

Доля дефляционно опасных земель в общей площади района по Енотаевскому району составляет 60%, из которых наибольшую долю занимают сильно дефлированные территории – 65%, средне дефлированные составляют 32%, слабо дефлированные – 3%; по Черноярскому району – 30-45% дефляционно опасных земель, из которых слабо дефлировано 62%, средне дефлировано – 25% и сильно дефлировано 13%. В Северо-Западной части низменности процессы дефляции выражены слабее.

Важным фактором, определяющим жизненный уровень населения, живущего на

деградированных территориях, является продуктивность сельскохозяйственных угодий. Поэтому оценке снижениях продуктивности из-за опустынивания уделяется пристальное внимание (Кулик, 2003). Потери продуктивности (ПГП) пастбищных угодий в результате опустынивания ежегодно составляют: по Светлоярскому району – 37.0 тыс. ц.к.ед., по Малодербетскому району – 167.7 тыс. ц.к.ед., Кетченеровскому району – 357.1 тыс. ц.к.ед., Октябрьскому району – 191.9 тыс. ц.к.ед., Сарпинскому району – 132.1 тыс. ц.к.ед., Черноярскому району – 94.8 тыс. ц.к.ед., северной части Енотаевского района – 72.1 тыс. ц.к.ед. Таким образом, удельные потери годичной продуктивности в результате опустынивания в регионе нарастают по мере усиления аридности климата и ухудшения почвенно-гидрологических условий. Общие ПГП пастбищ в результате опустынивания в регионе составляют 1052.7 тыс. ц.к.ед. Эти данные служат показателем масштабов ущерба, наносимого опустыниванием, и критерием выбора приоритетных объектов агроэкологического обустройства территории.

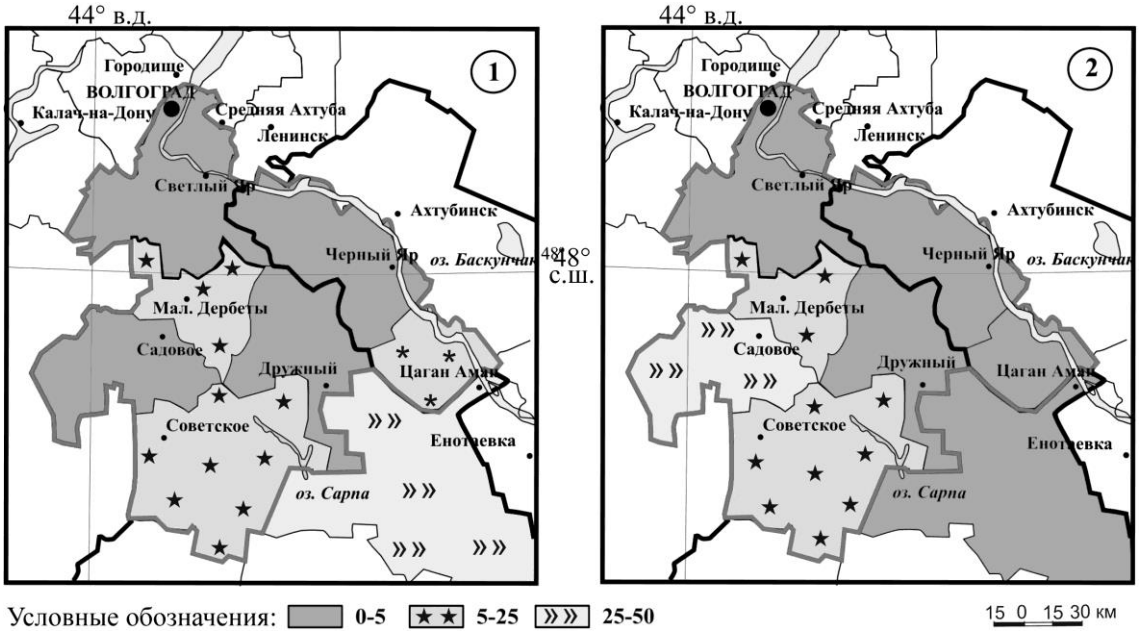



**Рис. 3.** Индексы дефлированности (1) и эродированности (2) пастбищ, доли единиц.

Восстановление пастбищных экосистем – процесс длительный. Одним из путей улучшения агроэкологической ситуации в регионе является лесомелиоративное обустройство территории (Петров, 2000). Агролесомелиоративные мероприятия имеют важное значение для предотвращения эрозии и дефляции почв и рассматриваются как многофункциональный, долговременный фактор охраны окружающей среды (Коринец, Пучков, 2006). Применяя систему фитомелиорации возможно снизить засоление почв на 10-15% и повысить продуктивность засоленных земель на 20-25% (Гордеев, Романенко, 2008). Лесомелиоративные комплексы «работают» наиболее эффективно, когда применяются грамотно, с учетом научно обоснованного размещения на сельскохозяйственных землях, подбора ассортимента деревьев и кустарников в соответствии с лесорастительными условиями, что обеспечит достижение максимально возможного мелиоративного, хозяйственного, санирующего и эстетического эффекта (Кулик, Кулик, 2015).

Для получения максимального эколого-экономического эффекта от лесомелиорации была составлена карта лесорастительных условий согласно лесомелиоративной классификации, отражающей природные характеристики территории и особенности ее лесомелиоративного освоения. Согласно ей центральная часть Сарпинской низменности в основном ограничена доступными грунтовыми водами. Территории с ограниченно доступными грунтовыми водами (ЛМТ б) занимают площадь 1.8 млн га, с возможностью перераспределения атмосферных осадков (ЛМТ в) – 0.91 млн. га, лишенные источников дополнительного увлажнения (ЛМТ г) – 0.95 млн. га (рис. 4). Представленная карта позволяет решать целый ряд практически важных вопросов: планирование

использования территорий, пространственное размещение лесных и сельскохозяйственных угодий, выбор наиболее перспективных видов и форм насаждений, их конфигурация (кулисы, колки, массивы) и прочие лесомелиоративные особенности.

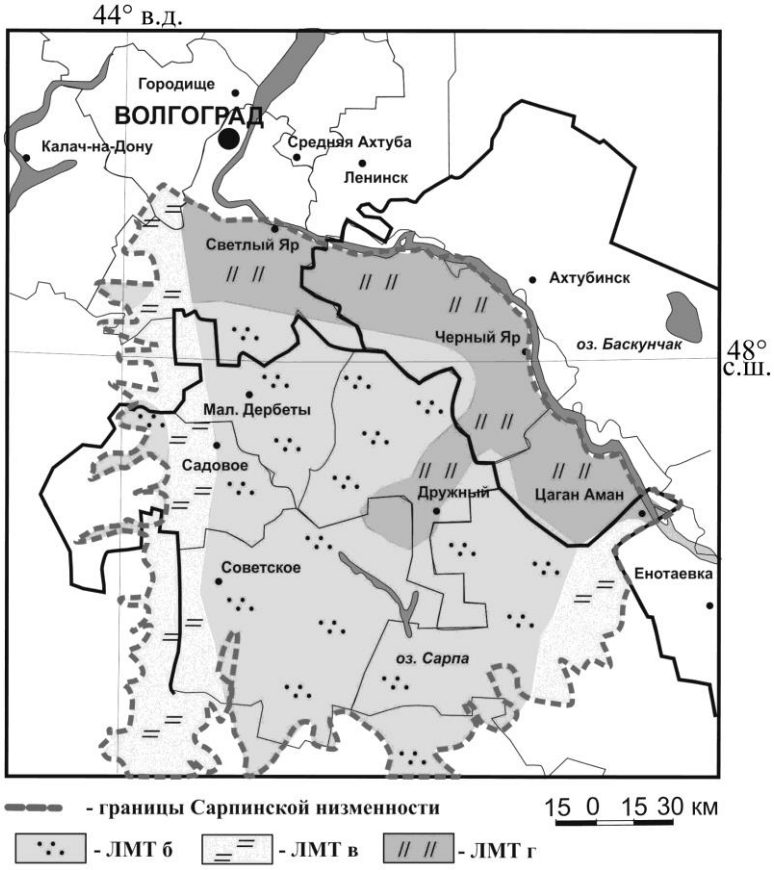



**Рис. 4.** Лесорастительные условия Сарпинской низменности. *Условные обозначения:* ЛМТ б – ограниченно доступные ГВ; ЛМТ в – возможность перераспределения атмосферных осадков; ЛМТ г – лишенные источников дополнительного увлажнения.

## Выводы

К основным причинам неустойчивого сельскохозяйственного производства в регионе можно отнести, наряду с неблагоприятными климатическими условиями, неудовлетворительное качественное состояние угодий, вызванное снижением культуры земледелия и кормопроизводства. Антропогенные факторы в связке с неблагоприятными климатическими, гидротермическими и эдафическими условиями приводят к сокращению площадей природных кормовых угодий, деградации почвенно-растительного покрова, резким колебаниям урожая и питательной ценности кормов, замедляя устойчивое развитие животноводства в регионе. Интенсивное использование низкопродуктивных аридных земель дестабилизирует природные экосистемы, вызывает прогрессирование опустынивания, на отдельных территориях – изъятие земель из сельскохозяйственного оборота, превращение участков в «бросовые земли». В результате опустынивания в регионе сокращаются площади полноценных кормовых угодий, увеличивается экологическая и социально-экономическая напряженность. Потери продуктивности пастбищ в результате опустынивания в регионе составляют 1052.7 тыс. ц.к.ед. в год. Важнейшей задачей на сегодняшний день продолжает оставаться проблема восстановления плодородия почв, продуктивности и экологической стабильности бросовых, засоленных земель, подвижных песков, создание экологически устойчивых, высокопродуктивных сельскохозяйственных биоценозов на деградированных землях с последующим вовлечением их в сельскохозяйственный оборот. Создание лесомелиоративных комплексов, заложенных с учетом специфики природно-территориальной

структуры агроландшафтов, является важным звеном в осуществлении ряда природоохранных мероприятий, направленных на сохранение природного равновесия и предотвращение развития деградационных процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Власенко М.В.* 2011. Изменение растительного покрова под влиянием выпаса сельскохозяйственных животных на пастбищных угодьях Астраханской области // Фундаментальные исследования. №12 (4). С. 757-759.

*Власенко М.В.* 2014. Продуктивность и флористическое разнообразие пастбищ Сарпинской низменности под влиянием фитомелиорации // Дис. … канд. с.-х. наук (06.03.03 – Агролесомелиорация, защитное лесоразведение и озеленение населенных пунктов, лесные пожары и борьба с ними). Волгоград: ВНИАЛМИ. 208 с.

*Гордеев А.В., Романенко Г.А.* 2008. Проблемы деградации и восстановления продуктивности земель сельскохозяйственного назначения в России. М.: ФГНУ «Росинформагротех». 68 с.

*Дзыбеков Д.С.* 2001. Вторичная восстановительная сукцессия в полупустынной и степной растительности // Теория и практика лесомелиорации и лесоаграрного освоения аридных территорий. Волгоград: ВНИАЛМИ. Вып. 1 (109). С. 125-128.

*Дурдусов С.Д., Хегай В.Е., Зулаев М.С.* 2003. Возрождение традиционного животноводства в Калмыкии // Зоотехния. № 6. С. 20-21.

*Коринец В.В., Пучков М.Ю.* 2006. Агроэкологическое обоснование проведения лесомелиоративных работ на Нижней Волге // Природопользование в аграрных регионах России. М.: Современные тетради. С. 73-77.

*Кулик К.Н., Петров В.И., Павловский А.С.* 2001. Организация системы научного обеспечения и мониторинг реализации НПДБО (на примере Ростовской области) // Эколого-мелиоративные аспекты научно-производственного обеспечения АПК. М.: Современные тетради. С. 18-22.

*Кулик К.Н.* 2003. Экологические аспекты борьбы с опустыниванием и продовольственной безопасности РФ // Проблемы опустынивания и защита биологического разнообразия природохозяйственных комплексов аридных регионов России. М.: Современные тетради. С. 33-41.

*Кулик К.Н.* 2004. Агролесомелиоративное картографирование и фитоэкологическая оценка аридных ландшафтов. В.: ВНИАЛМИ. 249 с.

*Кулик К.Н.* 2007. Опустынивание и комплексная мелиорация агроландшафтов засушливой зоны. Волгоград: ВНИАЛМИ. 86 с.

*Кулик К.Н., Кулик А.К.* 2015. О перспективах защитного лесоразведения в Волгоградской области // Стратегическое развитие АПК и сельских территорий РФ в современных международных условиях. С. 303-307.

*Мордкович В.Г.* 1982. Степные экосистемы. 2-е изд. испр. и доп. Новосибирск: Гео. 170 с.

*Опарин М.Л., Опарина О.С., Цветкова А.А.* 2004. Выпас как фактор трансформации наземных экосистем семиаридных регионов // Поволжский экологический журнал. № 2. С. 183-199.

*Павловский Е.С., Кулик К.Н.* 1999. Субрегиональная национальная программа действий по борьбе с опустыниванием (НПДБО) для юго-востока Европейской части РФ. Волгоград: ВНИАЛМИ. 313 с.

*Петров В.И.* 1981. Биоэкологические основы размещения древесно-кустарниковой растительности на песках Юго-Востока // Мелиорация и хозяйственное освоение песков засушливых областей. Вып. 3 (72). С. 43-54.

*Петров В.И.* 2000. Рекомендации по формированию лесопастбищ в аридной зоне. Волгоград: ВНИАЛМИ. 42 с.

*Степнин Г.И.* 1962. Растительность юго-западной части Сарпинской низменности и смежного массива Ергеней // Автореф. дис. … канд. биол. наук. Ростов-на-Дону. 22 с.

*Турко С.Ю.* 2018. Методы и принципы оптимизации пастбищных экосистем // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. № 2 (70). С. 230-235.

*Турко С.Ю., Трубакова К.Ю.* 2018. Моделирование функционирования пастбищ в целях прогнозирования их состояния при хозяйственной эксплуатации // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. № 1 (45). С. 33-38.

*Aubreville A.* 1949. Climats, forests et desertification del Afrique tropicale // Societe deditions geographiques, maritimes et colonials. Paris. 255 p.

*Voigt J.W., Weaver E.* 1951. Range condition classes of native mid-western pastures: an ecological analysis // Ecological monographs. Vol. 21. P. 39-60.

*Weaver J.E.* 1968. Prairie plants and their environment. Lincoln: Nebraska University Press. 132 p.

*Weaver J.E., Hansen W.W.* 1941. Native mid-western pastures: their origin, composition, and degeneration // Conservation and Survey Division Bulletin University of Nebraska. Vol. 22. P. 1-93.

*Dyksterhuis E.J.* 1958. Ecological principles in range evaluation // Botanical Review. Vol. 24. P. 253-272.

*Hartnett D.C., Hikman K.R., Fischer-Walter L.E.* 1996. Effects of bison grazing, fire and topography on floristic diversity in tallgrass prairie // Journal of Range Management. Vol. 49. P. 413-420.

*АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2019, том 25, № 4 (81), с. 82-91*

**ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ**

*УДК 631.411 (571.54)*

# ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА ГУМУСОВЫХ ГОРИЗОНТОВ АРИДНЫХ ПОЧВ БАРГУЗИНСКОЙ КОТЛОВИНЫ[1]

**© 2019 г. В.И. Убугунова*, П.Д. Гунин**, В.Л. Убугунов*, Е.Н. Алескерова***, С.Н. Бажа**, Т.А. Аюшина***

**Институт общей и экспериментальной биологии Сибирского отделения РАН*
*Россия, 670047, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6. E-mail: ubugunova57@mail.ru*
***Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН*
*Россия, 119071, г. Москва, Ленинский просп., д. 33*
****Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. В.Р. Филиппова*
*Россия, 670024, г. Улан-Удэ, ул. Пушкина, д. 8*

Поступила в редакцию 08.04.2018. После доработки 08.05.2019. Принята к публикации 08.05.2019.

Изучены различные типы аридных почв, формирующиеся в условиях экстраконтинентального климата на северной границе распространения центральноазиатских степей. В статье представлены результаты изучения поверхностных горизонтов степных почв и почв контактной зоны леса и степи по цветовым характеристикам и гумусному состоянию. По шкале Манселла и цветовой гамме в системе CIE–L*a*b* установлено преобладание криогумусовой аккумуляции в почвах степных экосистем и светлогумусовой в контактной зоне. Диагностическим параметром может служить соотношение лабильных и биоинертных фракций гумусовых соединений. Проведен кластерный анализ гумусовых горизонтов почв по 25 показателям. Первый кластер объединяет степные почвы с криогумусовой аккумуляцией, второй – со светлогумусовой. Почвы с профилем АК–ВСА–Сса классифицированы нами на данном этапе исследований как криогумусовые почвы. Полученные материалы послужат в качестве основы для уточнения классификационного положения криоаридных почв.

*Ключевые слова:* почва, гумус, аккумуляция, цветовые характеристики, фракционный состав.
**DOI: 10.24411/1993-3916-2019-10076**

В экстраконтинентальных холодных аридных ландшафтах Северо-Восточной Азии (Яно-Колымская складчатая система, Центрально-Якутская депрессия, горные системы юга Сибири и Монголии) и на севере Центральной (высокие нагорья Центрального Тянь-Шаня) развиты своеобразные сухостепные почвы «каштановидного» облика, занимающие только в пределах границ бывшего СССР свыше 6.5 млн. га (Волковинцер, 1978). Эти почвы с аридным трендом почвообразования ранее были описаны на огромных пространствах от тундр до сухих степей в качестве мелкоареальных, приуроченных к теплым позициям южных склонов со степной растительностью (Быстряков, Кулинская, 1980; Пустовойтов, Таргульян, 1996; Бронникова и др., 2017; Убугунов и др., 2016; Pustovoytov, 1998, 2002). Ярко выраженная специфика почв «каштановидного» облика островных северных степей, отсутствие аналогии с одноименными почвами Европейской части России и Средней Сибири послужили основанием для выделения почв ультраконтинентальных холодных влагодефицитных районов криоксерофитных степей в тип криоаридных почв (Волковинцер, 1978). Это положение нашло свое отражение в «Классификации и диагностике почв России» (2004). По системе World Reference Base for Soil Resources (2015) криоаридные

[1] Работа выполнена по темам НИР ИОЭБ СО РАН «Эволюция, функционирование и эколого-биогеохимическая роль почв Байкальского региона в условиях аридизации и опустынивания, разработка методов управления их продукционными процессами» (Госзадание № АААА-А17-117011810038-7); «Структура разнообразия растительного покрова и ресурсный потенциал модельных видов растений в Байкальском регионе» (Госзадание № АААА-А17-117011810036-3) и при поддержке гранта РФФИ № 17-29-05019 «Деградация ландшафтов в Байкальском регионе».

почвы классифицированы как Calcic Cambisoil Eutric, что отражает ее ксероморфность, но не отражает специфики, связанной с холодом (Путеводитель ..., 2015).

Одним из важнейших показателей химического состава и морфологического строения является цвет почв и особенности аккумуляций гумусовых соединений. В настоящее время именно эти показатели используются при диагностике генетических горизонтов почв, почвенных типов и подтипов как в отечественных (Классификация …, 2004; Полевой …, 2008), так и в зарубежных классификациях (World Reference …, 2015). Цвет почв указывает на содержание гумуса, некоторых соединений железа, карбонатов, сульфатов, хлоридов, позволяет оценивать масштабы засоления почв, их загрязнения нефтью, степень повреждения (Орлов, 1977; Водяницкий, Шишов, 2006). Гумусовые соединения играют особую роль в генезисе и плодородии почв, поддерживают его устойчивость и динамическое равновесие, являясь основным звеном в почвенной экосистеме (Орлов, 1990).

Цель проведенных исследований – сопряженное изучение цветовых характеристик и гумусного состояния поверхностных горизонтов различных типов аридных почв, формирующихся в условиях экстраконтинентального климата на северной границе распространения центральноазиатских степей, уточнение их генезиса и классификационного положения.

## Материалы и методы исследования

Полевые исследования проводились в 2009-2018 гг. в Баргузинской котловине, являющейся крупнейшей впадиной северного крыла Байкальской рифтовой зоны (рис. 1, табл. 1). Геоморфологическое строение котловины состоит из предгорных наклонных равнин, комплекса широких аллювиальных террас и пойм, а также степных плосковершинных возвышенностей. Почвообразующие породы предгорной наклонной равнины Баргузинского и Улюнского хребтов представлены делювиально-элювиальными отложениями щелочных гранитов Ангаро-Витимского батолита. На предгорной равнине Икатского хребта в урочище «Ининская степь» распространены моренные отложения. Степные плосковершинные возвышенности сложены мощной толщей кварц-полевошпатовых полимиктовых песков (Убугунов и др., 2016).

**Рис. 1.** Область почвенных исследований и географическое положение разрезов.

Климат территории исследования резко континентальный. Среднегодовая температура воздуха составляет -2.3°С. Для этой территории характерна большая амплитуда абсолютных температур

воздуха в течение года (90°С).

Значение максимальной температуры летнего периода составляет 38°С, а минимальной зимней – -52°С, продолжительность безморозного периода в центральной части впадины – всего 110-113 дней, суммы активных температур воздуха за период с устойчивой среднесуточной температурой воздуха выше 10°С, которая обеспечивает наиболее интенсивную вегетацию растений, составляет от 1600° до 1810°С. Особенностью климата межгорной котловины является незначительное количество осадков – 196- 327 мм. По количеству эффективных осадков климат может классифицироваться от аридного, в мае, до семиаридного в июне и умеренно аридного в августе (Убугунов и др., 2017). Сухость весенних месяцев усугубляется сильными ветрами.

**Таблица 1.** Характеристика изученных участков степей и контактной зоны леса и степи.

| № | Высота, м н.у.м. БС | Георафические координаты | Рельеф, почвообразующие породы |
|---|---|---|---|
| **Степи** | | | |
| 8 М | 495 м | 53° 44’ 26.2” с.ш., 110° 08’ 33.2” в.д | Нижняя часть Ининского конуса выноса, предгорья Икатского хребта; гравийно-щебнисто-галечные моренные отложения |
| ТИ 9 | 508 м | 53° 50’ 57.0” с.ш., 109° 56’ 14.9” в.д | Покатый склон юго-восточной экспозиции северной части Улюнского хребта; элюво-делювий гранитов |
| ВКС 1 | 524 м | 54° 24’ 25.0” с.ш., 110° 27’ 38.9” в.д | Слабонаклонная равнина со слабо выраженным древнедюнным рельефом урочища Верхнего куйтуна; древнеэоловые песчаные отложения |
| ВК 5 | 600 м | 54° 08’ 11.6” с.ш., 110° 28’ 40.3” в.д | Средняя часть склона урочища Верхнего куйтуна с древнеэолово-терассированным пологоволнистым слаборасчлененным рельефом; древнеэоловые песчаные отложения |
| ВК 1 | 688 м | 54° 07’ 45.6” с.ш., 110° 29’ 26.3” в.д | Верхняя часть песчаного массива урочища Верхнего куйтуна; древнеэоловые песчаные отложения |
| **Остепненные сосновые леса** | | | |
| ВКС 16 | 635 м | 54° 20’ 07.3” с.ш., 110° 37’ 08.3” в.д | Пологий склон повышенной равнины урочища Верхнего куйтуна; древнеэоловые песчаные отложения |
| ВКС 17 | 656 м | 54° 19’ 28.3” с.ш., 110° 37’ 11.6” в.д | Слабонаклонная равнина урочища Верхнего куйтуна; древнеэоловые песчаные отложения |
| ВКС 21 | 662 м | 54° 19’ 32.2” с.ш., 110° 38’ 55.0” в.д | Дно ложбины на повышенной равнине урочища Верхнего куйтуна; древнеэоловые песчаные отложения |

На предгорных наклонных равнинах Баргузинского, Улюнского и Икатского хребтов и песчаных возвышенностях днища котловины (490-800 м н.у.м. БС) характерно сочетание степей и остепненных лесов, которые имеют резкие переходы. Степные сообщества занимают около трети площади котловины и имеют прерывистый островной ареал распространения. Самые крупные массивы расположены на обширных песчаных возвышенностях – урочища «Верхний куйтун» и «Нижний куйтун», по 30 тыс. га каждый. Степные участки приурочены также к низкогорной части котловины и длинными лентами тянутся по нижним частям южных каменистых склонов (600-800 м н.у.м. БС) вглубь Баргузинского и Икатского хребтов (Кривобоков, Назимова, 2011). Характерная особенность степей – преобладание во флоре видов криоксерофильного перигляциального комплекса (Рещиков, Богданова, 1968).

Объектом исследований явились почвы степных участков Улюнского хребта, предгорных равнин Икатского хребта и песчаных возвышенностей. Для сравнения изучались почвы контактной зоны леса и степи (рис. 1, табл. 1). В процессе работы применялись сравнительно-географический, морфологический, аналитический, статистический методы. Анализ физико-химических и химических

свойств почв проведен стандартными общепринятыми методами: содержание органического углерода определяли методом Тюрина; общего азота – по Кьельдалю; емкости катионного обмена – по Бобко-Аскинази; гранулометрический состав – по Качинскому, фракционный состав гумуса по Пономаревой-Плотниковой (Агрохимические …, 1975; Методы …, 1977; Практикум …, 1987). Диагностика и классификация почв проведена по работам: «Классификациz и диагностикf почв России» (2004) и «Полевой определитель почв России» (2008).

Цветовая характеристика почвенных горизонтов анализировалась различными методами. По оптической системе Манселла (Цветовая …, 2018) определялся тон (H), осветлённость (V) и насыщенность цвета (C). Для преобразования цветового описания в математические показатели использовалась система CIE-L*a*b*, которая помогает разграничить влияние гумуса или минералов железа на цветовые характеристики горизонтов почв и объективизирует решение классификационных задач (Водяницкий, Кириллова, 2016а, 2016б; Viscarra Rossel, 2016). Показатель L* осветлённость обратно зависит от содержания в почве темного пигмента – гумуса, значения показателя a* (красноты) прямо пропорциональны содержанию красноцветного пигмента гематита αFe2O3, а значения показателя b* (желтизны) – содержанию в почве желтоцветного пигмента гетита αFeOOH (Водяницкий, 2016б). Алгоритмы перевода данных по шкале Манселла в систему распознавания цвета CIE–L*a*b* были осуществлены в программе Munsell Conversion Version 12.18.5f (Цвет в промышленности, 2002).

Изученные гумусовые горизонты почв были классифицированы кластерным анализом по массиву данных, состоящему из 25 параметров (физико-химические свойства, цвет по шкале Манселла, системе CIE-L*a*b*, фракционный состав и т.д.). Для построения дендрограмм сходства использовались программы Microsoft Excel 2016 и Statistica ver. 10.

## Результаты и их обсуждение

Изученные почвы формируются либо на элюво-делювии щелочных гранитов А-типа Ангаро-Витимского батолита, либо на песках. По цветовой гамме породы имеют по шкале Манселла окраску 10YR, осветлённость 6, насыщенность 2. В них преобладают средне- и мелкопесчаные фракции. Реакция среды в породах щелочная и сильно щелочная (8.8±0.04). Содержание гумуса не более 0.20%. Количество $CO_2$ в песках Баргузинской котловины колеблется в пределах 0.09-3.28%. Породы не засолены, среднее содержание легкорастворимых солей составляет всего 0.07 % (табл. 2).

**Таблица 2.** Характеристика цвета почвообразующего песка (C), аккумулятивно-карбонатного (BCA) и палево-метаморфического (BPL) горизонтов по шкале Манселла и системе CIE-L*a*b*.

| Почвенный горизонт | Шкала Манселла | | | Система CIE-L*a*b* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Тон (H) | Осветлённость (V) | Насыщенность (C) | L* | a* | b* |
| BPL | 10 YR | 4 | 3 | 41.2 | 5.6 | 19.4 |
| BCA | 10 YR | 6 | 2-3 | 61.7 | 2.9-4.4 | 13.1-19.1 |
| C | 10 YR | 6 | 2 | 61.7 | 2.9 | 13.1 |

В изученных почвах по морфологическому строению и вещественному составу диагностируются аккумулятивно-карбонатный (BCA) и палево-метаморфический (BPL) горизонты. Горизонт BCA имеет светло-буровато-серый цвет (H=10 YR, V=6, C=2-3), в нем выражена дисперсно-карбонатная форма аккумуляции педогенных карбонатных образований. Метаморфические процессы на легких по гранулометрическому составу почвах в условиях экстраконтинентального климата с коротким периодом оптимальных гидротермических условий коренным образом отличаются от условий, в которых развиваются классические каштановые почвы. В изученных почвах отсутствуют ксерометаморфические (BMK) и структурно-метаморфические (BM) горизонты. Проявление процессов метаморфизации больше всего соответствует палевому метаморфизму (BPL). По цветовой гамме этот горизонт имеет окраску бледно-буровато-палевого цвета (H=10 YR, V=4, C=3; табл. 2), бесструктурный, не вскипает от HCl, имеет нейтральную или слабощелочную среду.

Наибольшую сложность представляет диагностика верхних гумусовых горизонтов изученных почв. Они преимущественно связнопесчаные и легкосуглинистые. Реакция среды чаще всего

слабощелочная, карбонаты отсутствуют, содержание гумуса изменяется от низкого до среднего (табл. 3).

Цвет поверхностных горизонтов степных почв, формирующихся на щебнистом субстрате, имеет красновато-бурые и каштановые тона (H=7.5 YR, V=3, C=2-4). В почвах настоящих степей и почвах остепненных сосняков цвет горизонта от темно-серовато-бурого до темно-бурого (H=10 YR, V=3, C=2-3; табл. 4). По оптической системе CIE-L*a*b*, осветлённость (L*), отражающая влияние гумуса на цвет, в поверхностных горизонтах всех изученных почв, одинакова (30.8). Диапазон варьирования желтизны (b*) изменяется от 12.2 до 21.9, а красноты (a*) – от 3.9 до 10. Это показывает, что окраску горизонтов определяют именно различные соединения железа. Красноватые цвета связаны с устойчивыми соединениями гематита (Водяницкий, Кириллова, 2016а), а красновато-бурые и каштановые цвета идентифицируют криогумусовую аккумуляцию (Почвообразовательные процессы, 2006). В почвах настоящих степей и остепненных сосняков показатели красноты и желтизны имеют близкие значения.

**Таблица 3.** Некоторые свойства поверхностных гумусовых горизонтов почв степей и остепненных сосняков Баргузинской котловины.

| **Растительность** | **Степи** | | | | | **Остепненные сосняки** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Почвы** | **Номера почвенных разрезов** | | | | | | | |
| | **8М** | **ТИ9** | **ВКС1** | **ВК5** | **ВК1** | **ВКС16** | **ВСК17** | **ВКС21** |
| **Химические характеристики** | **Глубина гумусового горизонта, см** | | | | | | | |
| | **0-20** | **0-21** | **0-18 (20)** | **0-18 (34)** | **0-14 (23)** | **0-6 (13)** | **0-6 (8)** | **0-5 (9)** |
| **$pH_{водн.}$** | 7.5 | 7.1 | 7.3 | 7.2 | 7.2 | 7.3 | 7.2 | 6.6 |
| **Гумус, %** | 2.34 | 1.76 | 1.55 | 1.95 | 1.64 | 2.14 | 4.64 | 3.71 |
| **N, %** | 0.25 | 0.08 | 0.21 | 0.22 | 0.18 | 0.31 | 0.56 | 0.34 |
| **Размер физических частиц, мм** | **Гранулометрический состав гумусовых горизонтов, %** | | | | | | | |
| **1-0.25** | 21 | 15 | 22 | 25 | 40 | 10 | 11 | 4 |
| **0.25-0.05** | 41 | 29 | 51 | 29 | 15 | 55 | 39 | 32 |
| **0.05-0.01** | 29 | 41 | 21 | 32 | 19 | 28 | 40 | 53 |
| **<0.01** | 9 | 15 | 6 | 14 | 26 | 7 | 10 | 11 |

**Таблица 4.** Характеристика цвета гумусовых горизонтов по шкале Манселла и системе CIE-L*a*b*.

| **№ почвенных разрезов** | **Шкала Манселла** | | | **СистемаCIE-L*a*b*** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **тон** | **осветлённость** | **насыщенность** | **L*** | **a*** | **b*** |
| **Криогумусовый горизонт (АК), степи** | | | | | | |
| 8М | 7.5 YR | 3 | 3 | 30.8 | 8.5 | 16.3 |
| ТИ9 | 7.5 YR | 3 | 4 | 30.8 | 10.8 | 21.9 |
| ВКС1 | 7.5 YR | 3 | 2 | 30.8 | 6.0 | 11.2 |
| ВК5 | 10 YR | 3 | 3 | 30.8 | 5.8 | 17.8 |
| ВК1 | 10 YR | 3 | 3 | 30.8 | 5.8 | 17.8 |
| **Светлогумусовый горизонт (AJ), остепненные сосновые леса** | | | | | | |
| ВКС16 | 10 YR | 3 | 3 | 30.8 | 5.8 | 17.8 |
| ВКС17 | 10 YR | 3 | 2 | 30.8 | 3.9 | 12.2 |
| ВКС21 | 10 YR | 3 | 3 | 30.8 | 5.8 | 17.8 |

Для дальнейшей детализации диагностических параметров были использованы количественно-качественные характеристики гумуса: содержание, профильное распределение, групповой и фракционный состав. Эти диагностические признаки генетически устойчивы и тесно связаны с

типами и подтипами почв.

Криогумусовый горизонт (АК) имеет низкое содержание гумуса гуматно-фульватного типа. Гумус находится преимущественно в инертной форме (рис. 2). Количество нерастворимого остатка и фракций, связанных с устойчивыми полуторными окислами и глинистыми минералами (ГК3, ФК3) превышает 60%, стабильного гумуса (ГК2, ФК3) в среднем составляет 23%, содержание лабильных форм (ГК1, ФК1а, ФК1) изменяется в диапазоне от 6 до 17%. В изученных почвах доминирует вторая и третья фракции гуминовых кислот и вторая фракция фульвокислот. Подвижных новообразованных фракций гуминовых кислот содержится мало, что показывает на преобладание процессов полимеризации гумусовых структур и их конденсированность (рис 2, 3).

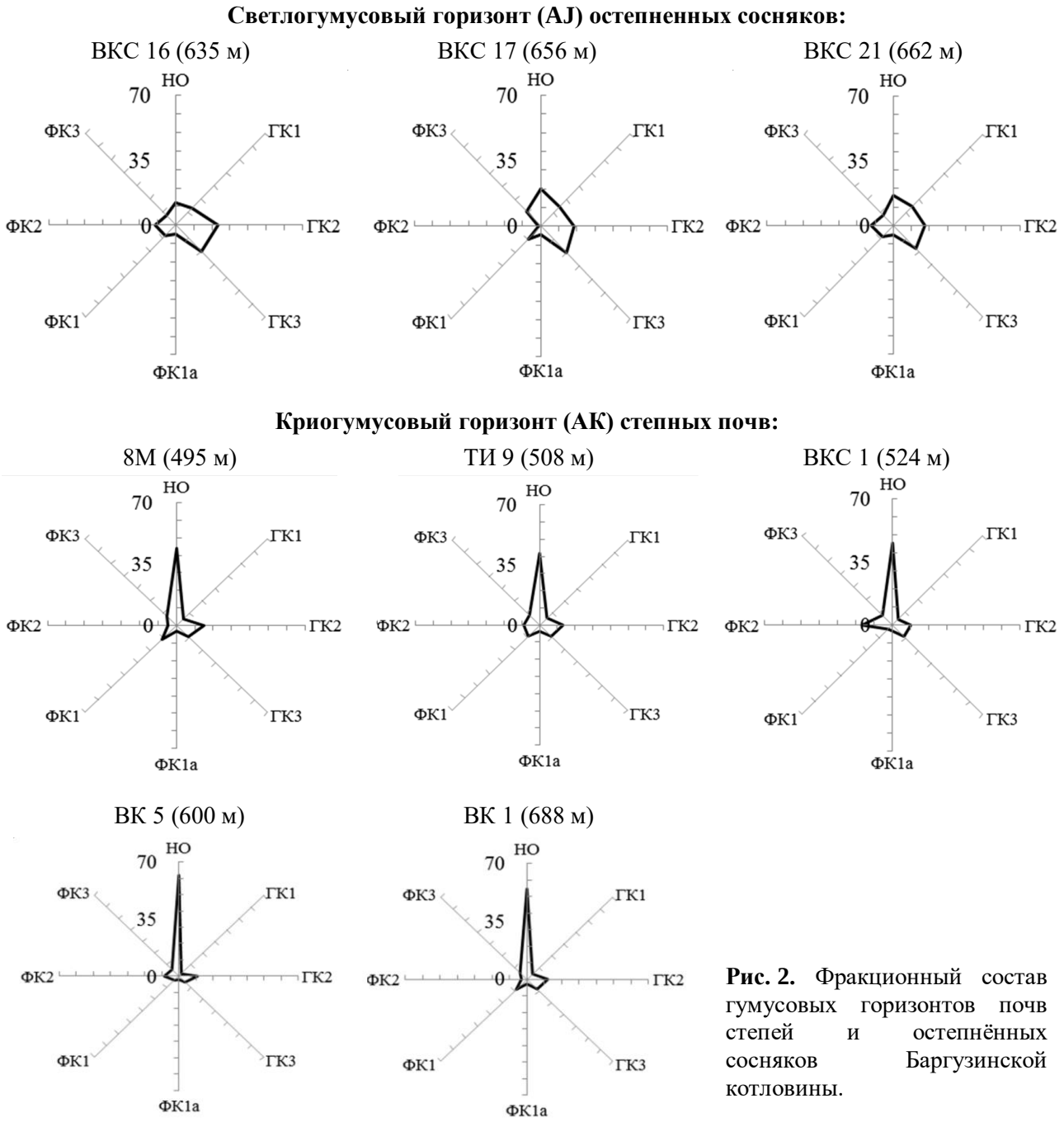



**Рис. 2.** Фракционный состав гумусовых горизонтов почв степей и остепнённых сосняков Баргузинской котловины.

Светлогумусовые горизонты почв остепнённых сосняков содержат среднее количество гумуса гуматно-фульватного типа. Они характеризуются повышенным содержанием лабильных фракций

гумуса (26-29%), особенно бурых гуминовых кислот (13-15%) и невысокими значения нерастворимого остатка (40-51%). Такие показатели фракционного состава гумуса отражают процессы достаточно активного современного гумусообразования, происходящие в горизонтах AJ. По фракционному составу (рис. 2) и соотношению лабильных (подвижных) и стабильных форм (рис. 3) достаточно четко разграничились области степных криоаридных почв с горизонтом (AK) и палевых почв контактной зоны со светлогумусовой аккумуляцией (AJ).

Кластерный анализ по 25 показателям (физико-химические свойства, цвет по шкале Манселла, системе CIE-L*a*b*, фракционный состав и т.д.) выявил наличие двух кластеров (рис. 4).

На низком уровне пороговых расстояний разграничиваются криогумусовые горизонты (8М, ТИ 9, ВКС 1) почв горных степей (рис. 4). К данному кластеру примыкают и гумусовые горизонты почв настоящих степей (ВК 5 и ВК 1). Вторую типологическую группу формируют светлогумусовые горизонты почв сосняков (ВКС 16, ВКС 17, ВКС 21).

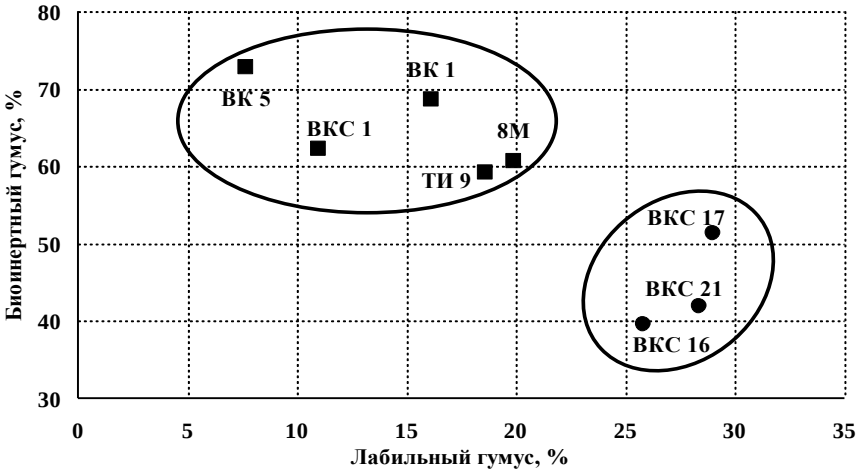



**Рис. 3.** Отношение лабильного (подвижного) гумуса к биоинертному в поверхностных горизонтах почв степей (■) и остепненных сосняков (●) Баргузинской котловины.

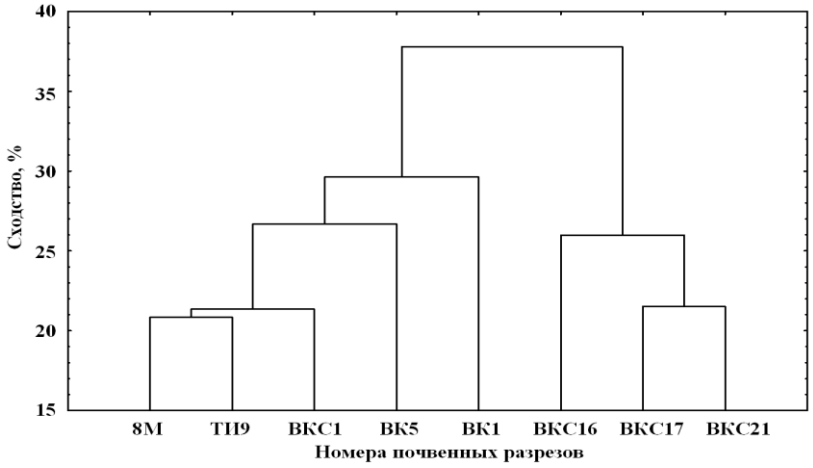



**Рис. 4.** Дендрограмма сходства гумусовых горизонтов аридных почв.

Самый крупный форпост северных степей, изолированный от основного их ареала, расположен в Баргузинской котловине. От современных аридных территорий в меридиональном направлении удален почти на 1.3-1.5 тыс. км на север.

Н.А. Ногина (1956) относит «каштановидные» почвы этой территории к своеобразным провинциальным каштановым, В.И. Волковинцер (1978) – к особым степным криоаридным, Г.Ф. Копосов (1983), А.А. Гладков (1985) – к каштановым много-, средне- и малогумусным,

Ц.Ц. Цыбикдоржиев и Ц.Х. Цыбжитов (1999) – к каштановым эологенным, В.Л. Убугунов с соавторами (2016) – к псаммоземам и светлогумусовым. До настоящего времени классификационное положение почв островных северных степей, формирующихся в окружении горных систем таежной зоны, очень противоречиво.

Многолетние почвенно-географические исследования (2009-2018 гг.) в северных степях выявили отличие морфологического строения и вещественного состава криоаридных почв от каштановых почв как европейской части страны, так и Забайкалья. Проведенными исследованиями проверялась гипотеза о доминировании криогумусовой аккумуляции в почвах северных островных степей.

Климат Баргузинской котловины имеет ярко выраженные своеобразные факторы формирования. Особенностью климата является аномальная холодность (Баженова, 2018), показатели континентальности варьируют от 71-79 до 95 (Баженова и др., 1999; Билтуева, 2004). Индекс аридности территории равняется 0.7-0.9. Такое экстремальное сочетание тепла и влаги создает условия для господства криоксерофитного и ксерофитного растительного покрова. В ареологическом составе степей преобладают виды евроазиатского (22%), североазиатского (16%), общеазиатского (17%) происхождения. По сравнению с южными степями Западного Забайкалья и Сибири в северных степях отмечается высокое долевое участие видов циркумполярного и североазиатского происхождений. Особенностью северных островных степей, является их изоляция от основных массивов степей и окружение лесами, что находит свое отражение в поясно-зональном составе степных сообществ. Степных видов насчитывается 33%, лесостепных – 30% и горностепных – 17% (Меркушева и др., 2012).

В изолированных от основного ареала баргузинских степях формируются почвы, гумусовые горизонты которых имеют бурые и красновато-бурые тона окраски, отличающие их от других гумусовых аккумуляций серого тона различной интенсивности. Определяющая роль в пигментировании гумусового горизонта принадлежит соединениям железа (a*b*), а не гумусовым (L*) соединенпиям.

Экстремальная континентальность климата является определяющим фактором гумусообразования, при котором формируются гуминовые кислоты упрощенного строения (C/H=0.93-0.96) с низким показателем степени ароматичности (CA=21-22; Кленов, Чимитдоржиева, 2011). Содержание и тип гумуса для территорий с холодным и сухим климатом, как известно, не обладают высокой диагностической значимостью (Кузьмин, Чернегова, 1981). По фракционному составу и соотношению лабильных и стабильных форм в изученных почвах достаточно четко разграничились области степных и лесостепных почв.

Изучение цветовых характеристик и гумусного состояния поверхностных горизонтов различных типов аридных почв на северной границе центральноазиатских степей позволило уточнить классификационное положение почв северных островных степей. Система генетических горизонтов изученных почв имеет следующее морфологическое строение: AK–BPL–BCA–Cca (иногда AK–BCA–Cca), AKaj(AJak)–BPL–BCA–Cca, AJ–BPL–BCA–Cca (рис. 5). По «Классификации и диагностике почв России» (2004) они все относятся к постлитогенному стволу, отделу палево-метаморфических почв, криоаридному и палевому типам. На подтиповом уровне можно отразить свойства почв настоящих степей, которые по шкале Манселла и системе CIE-L*a*b* близки к палевым, а по фракционному составу и вещественному составу – к криоаридным. Почв с морфологическим профилем AK–BCA–Cca нет в классификации России. На данном этапе исследований мы предлагаем их классифицировать как криогумусовые (табл. 5, рис. 5).

## Заключение

Почвы, формирующиеся в условиях экстраконтинентального климата на северной границе распространения центральноазиатских степей, имеют существенное отличие от классических каштановых почв по типу метаморфизма минеральной массы, процессам аккумуляции и трансформации органического вещества. Интегральным показателем происходящих в почвах процессов является цвет. В поверхностных горизонтах изученных почв цветовая палитра различается от красновато-бурых и каштановых тонов окраски до темно-серовато-бурого и темно-бурого оттенков.

Кластерный анализ по 25 показателям (физико-химические свойства, цвет по шкале Манселла, системе CIE-L*a*b*, фракционный состав и т.д.) выявил наличие палевых и криоаридных почв.

Почвы с профилем АК–ВСА–Сса классифицированы нами на данном этапе исследований как криогумусовые.

**Таблица 5.** Классификационное положение почв степей и остепненных сосняков Баргузинской котловины.

| № почвенного разреза | Тип строения почвы | Ствол | Отдел | Тип |
|---|---|---|---|---|
| 8М, ТИ9 | АК–BPL–ВСА–Сса | Постлитогенный | Палево-метаморфический | Криоаридная |
| ВК5, ВК1 | АКаj–BPL–ВСА–Сса или АJак–BPL–ВСА–Сса | | | Криоаридная светлогумусовая или палевая криогумусовая |
| ВКС 16, ВКС 17, ВКС 21 | AJ–BPL–ВСА–Сса | | | Палевая |
| ВКС 1 | АК–ВСА–Сса | | Не определен | Криогумусовая |

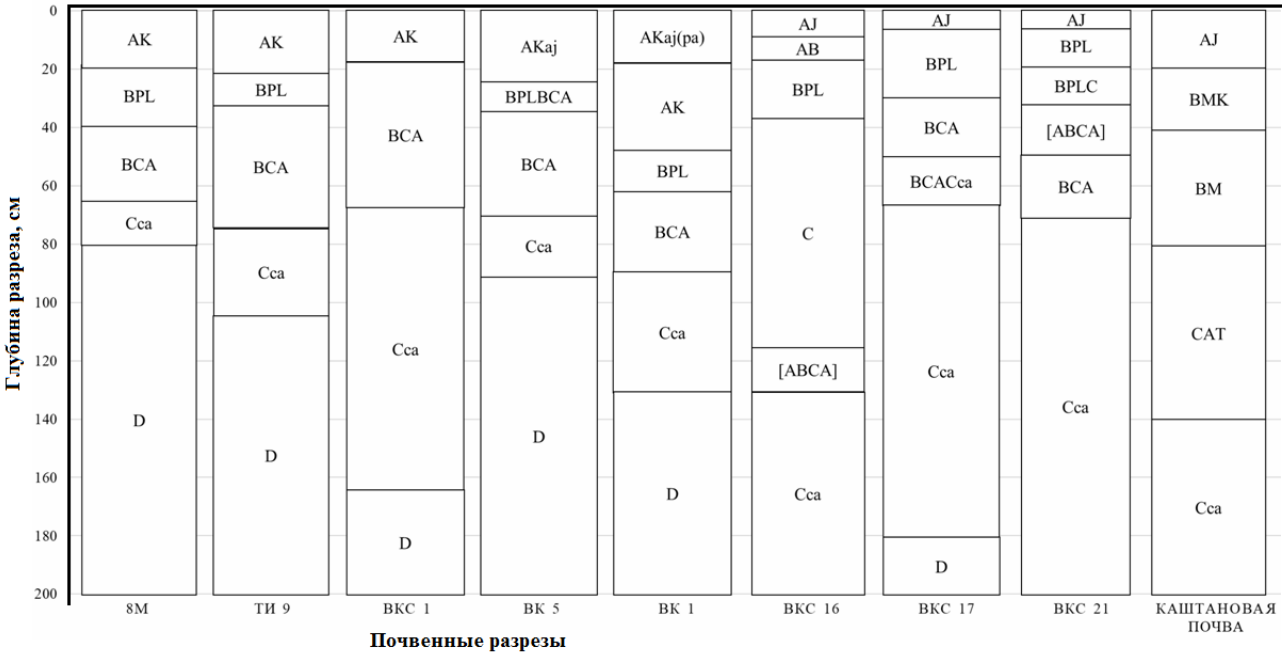



**Рис. 5.** Морфологические профили почв степей и остепненных сосняков Баргузинской котловины.

Представленная в статье информация является теоретической основой при рассмотрении эволюционных и генетических особенностей формирования почв степных экосистем Северной Азии. Результаты исследований необходимо учитывать при вовлечении этих почв в сельскохозяйственное производство. Низкое содержание гумуса и высокая доля инертных форм в его составе свидетельствуют о низком естественном плодородии изученных почв. Наиболее рациональным является использование криоаридных почв северных островных степей в пастбищном хозяйстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Агрохимические методы исследования почв. 1975. М.: Наука. 656 с.

*Баженова О.И.* 2018. Современная денудация предгорных степных равнин Сибири. Новосибирск: Гео. 259 с.

*Баженова О.И., Мартьянова Г.Н., Артеменок В.Н.* 1999. Климатический анализ структуры современной денудации в степях Хакасии // География и природные ресурсы. № 3. С. 76-84.

*Билтуева Е.Е.* 2004. Климатические особенности Баргузинской котловины // Вестник БГУ. Биология. География. № 4. С. 202-206.

*Бронникова М.А., Конопляникова Ю.В., Агатова А.Р., Зазовская Э.П., Лебедева М.П., Турова И.В., Непоп Р.К., Шоркунов И.Г., Черкинский А.Е.* 2017. Кутаны криоаридных почв и другие летописи ландшафтно-

климатических изменений в котловине озера Ак-Холь (Тува) // Почвоведение. № 2. С. 158-175.

*Быстряков Г.М., Кулинская Е.В.* 1980. Почвы степных криоаридных ландшафтов верховьев Колымы и Индигирки // География и генезис почв Магаданской области. Владивосток: ДВНЦ АН СССР. С. 143-160.

*Водяницкий Ю.Н., Шишов Л.Л.* 2006. Изучение некоторых почвенных процессов по цвету почв. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН. 85 с.

*Водяницкий Ю.Н., Кириллова Н.П.* 2016а. Использование системы CIE–L*a*b* для характеристики цвета почв // Почвоведение. № 11. С. 1337-1346.

*Водяницкий Ю.Н., Кириллова Н.П.* 2016б. Перевод цветовых показателей почвы системы Манселла в систему CIE–L*a*b*: таблицы и примеры расчета // Почвоведение. № 4. С. 3-11.

*Волковинцер В.И.* 1978. Степные криоаридные почвы. Новосибирск: Наука. 207 с.

*Гладков А.А.* 1985. Особенности почвообразования в Баргузинской котловине // Почвоведение. № 3. С. 20-28.

Классификация и диагностика почв России. 2004. Смоленск: Ойкумена. 342 с.

*Кленов Б.М., Чимитдоржиева Г.Д.* 2011. Влияние континентальности климата на гумусообразование и элементный состав гуминовых кислот автоморфных почв Сибири // Сибирский экологический журнал. № 5. С. 665-671.

*Копосов Г.Ф.* 1983. Генезис почв гор Прибайкалья. Новосибирск: Наука. 255 с.

*Кривобоков Л.В., Назимова Д.И.* 2011. Высотная дифференциация растительности на западном макросклоне Икатского хребта (Восточное Прибайкалье) // География и природные ресурсы. № 1. С. 59-66.

*Кузьмин В.А., Чернегова Л.Г.* 1981. Гумус основных типов почв Баргузинской котловины и прилегающих хребтов // Почвоведение. № 3. С. 35-45.

Методы стационарного изучения почв. 1977. М.: Наука. 296 с.

*Меркушева М.Г., Аненхонов О.А., Бадмаева Н.К., Сосорова С.Б.* 2014. Степные сообщества на каштановых почвах Западного Забайкалья: разнообразие и биопродуктивность // Аридные экосистемы. Т. 20. № 3 (60). С. 59-68.

*Ногина Н.А.* 1956. Сухостепные почвы Баргузинской котловины // Почвоведение. № 4. С. 58-69.

*Орлов Д.С.* 1990. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд-во МГУ. 325 с.

Полевой определитель почв России. 2008. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева. 182 с.

Почвообразовательные процессы. 2006. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева. 510 с.

Практикум по агрохимии. 1987 / Ред. Б.А. Ягодин. М.: Агропромиздат. 512 с.

Путеводитель научных экскурсий Всероссийской научной конференции с международным участием, Улан-Удэ, 31 августа – 9 сентября, БНЦ СО РАН. 177 с.

Путеводитель научных экскурсий Всероссийской научной конференции с международным участием. 2015. (Улан-Удэ-Сосново-Озерск-Горячинск-Аршан, 31 августа - 9 сентября, 2015) /Ред. А.И. Куликов, Н.Б. Бадмаев, А.Б. Гынинова. Москва-Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН. 178 с.

*Пустовойтов К.Е., Таргульян В.О.* 1996. Кутаны иллювиирования на щебне как источник педогенетической информации // Почвоведение. № 3. С. 335-347.

*Рещиков М.А., Богданова К.М.* 1968. Заметки о растительности Баргузинской долины и ее происхождении // Научные чтения памяти М.Г. Попова. Иркутск. С. 61-82.

*Убугунов В.Л., Гунин П.Д., Бажа С.Н., Дробышев Ю.И., Убугунова В.И.* 2017. Иссушение почв как показатель опустынивания лесостепных экосистем Баргузинской котловины // Аридные экосистемы. Т. 23. № 3. С. 17-31.

*Убугунов В.Л., Убугунова В.И., Цыремпилов Э.Г.* 2016. Почвы и формы рельефа Баргузинской котловины. Улан-Удэ: БНЦ СО РАН. 212 с.

Цвет в промышленности. 2002 / Ред. Р. Мак-Дональд. М.: Логос. 596 с.

Цветовая система Манселла. 2018. [Электронный ресурс: http//colory.ru/mansellcolorsheme (дата обращения: 06.02.2018)].

*Цыбикдоржиев Ц.Ц., Цыбжитов Ц.Х.* 1999. Каштановые эологенные почвы бассейна озера Байкал // География и природные ресурсы. № 2. С. 5-66.

*Pustovoytov K.* 1998. Pedogenic Carbonate Cutans as a Record of the Holocene History of Relic Tundra-Steppes of the Upper Kolyma Valley (North-Eastern Asia) // Catena. Vol. 34. No. 1-2. P. 185-195.

*Pustovoytov K.* 2002. Pedogenic Carbonate Cutans on Clasts in Soils as a Record of History of Grassland Ecosystems // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. Vol. 177. No. 1-2. P. 199-214.

*Viscarra Rossel R.A., Behrens T., Ben-Dor E., Brown D.J., Demattê J.A.M., Shepherd K.D., Shi Z., Stenberg B., Stevens A.* 2016. A Global Spectral Library to Characterize the World's Soil // Earth-Science Reviews. No. 155. P. 198-230.

World Reference Base for Soil Resources 2014. 2015. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps. 2015. IUSS Working Group // World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome. 192 p. [Электронный ресурс: http://www.fao.org/3/i3794en/I3794en.pdf (дата обращения: 06.02.2018)].

*АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2019, том 25, № 4 (81), с. 92-99*

**ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ**

*УДК 574.522; 595.771; 627.81*

# СОКРАЩЕНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ КРОВОСОСУЩИХ МОШЕК В ВОЛГОГРАДЕ ВО ВРЕМЯ ЧЕМПИОНАТА МИРА ПО ФУТБОЛУ 2018 ГОДА, КАК СПЕЦИАЛЬНАЯ ЗАДАЧА КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ КАСКАДА ВОДОХРАНИЛИЩ[1]

**© 2019 г. С.Е. Беднарук*, **, Н.А. Дильман**, А.В. Мастрюкова**, В.В. Чуканов*, ****

**Институт водных проблем РАН*
*Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3*
***Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева,*
*информационно-аналитический центр регистра и кадастра*
*Россия, 124551, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49. E-mail: 4yk@vodinfo.ru*

Поступила в редакцию 09.03.2019. После доработки 24.05.2019. Принята к публикации 24.05.2019.

Ежегодно на территории Волгоградской и Астраханской областей с конца мая по июль наблюдается массовый вылет кровососущих мошек. Мошки отличаются назойливым поведением, а укусы их очень болезненны, чем доставляют дискомфорт людям и животным. Во второй половине июня 2018 г. в Волгограде должны были пройти матчи чемпионата мира по футболу. Угроза массового вылета мошек в это время могла негативно сказаться на обеспечении санитарно-эпидемиологического благополучия, что неминуемо повлекло бы за собой нарушение правительственных гарантий, данных Международной федерации футбольных ассоциаций. На основании имевшихся сведений о зависимости численности и сроков вылета мошки от параметров весеннего половодья на Нижней Волге (объема стока, максимальных уровней и характера их спада) в качестве одной из мер было предложено установить такой режим сбросов воды из Волгоградского водохранилища, который снизил бы вероятность вылета мошек в период проведения игр чемпионата. Осуществление такого режима сбросов являлось сложной и комплексной задачей, так как требовало увязки с работой вышележащих водохранилищ и удовлетворения требований участников водохозяйственного комплекса как на самой Нижней Волге, так и на водохранилищах Волжско-Камского каскада. При этом следовало учитывать располагаемые водные ресурсы и недостаточную надежность и детализацию прогнозов притока воды.

*Ключевые слова:* Нижняя Волга, Волжско-Камский каскад, специальный весенний попуск, комплексное использование водных ресурсов, кровососущие мошки, чемпионат мира по футболу 2018 года.

**DOI: 10.24411/1993-3916-2019-10077**

При формулировании цели и задачи комплексного использования водных ресурсов чаще всего используются экономические понятия и критерии. В условиях планового социалистического хозяйства СССР таким критерием являлось удовлетворение нужд населения и различных отраслей народного хозяйства (Справочник …, 2013). В наиболее сложных случаях в число отраслей входили энергетика, водный транспорт, ирригация, рыбное хозяйство, борьба с половодьями и паводками (Крицкий, Менкель, 1952). В отношении капиталистической экономики термин «народное хозяйство» практически не используется, однако и здесь до середины XX века многоцелевое управление водными ресурсами осуществлялось в основном по экономическим критериям (Loucks et al., 2005).

В современной практике управления водными ресурсами кроме экономических задач рассматриваются также социальные, экологические и даже политические задачи. В последние годы

[1] Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант №17-77-30006, «Новое поколение моделей, методов и технологий для противодействия современным угрозам водной безопасности».

особое внимание уделяется вопросам устойчивого развития (ASCE, 1998), хотя среди специалистов до сих пор нет единого представления о том, что такое устойчивое развитие в области водных ресурсов (Simonovic, 2009).

Несмотря на многообразие задач комплексного использования водных ресурсов основными всё же остаются те функции водохозяйственных систем, которые были возложены на них при проектировании. Однако в ходе эксплуатации водохранилищ и водохозяйственных систем зачастую возникают задачи, которые не были предусмотрены проектом и не свойственны водному хозяйству вообще. Примером может служить регулирование режимов работы Волжско-камского каскада в 2015 году, когда в г. Казани проходил чемпионат мира по водным видам спорта. Тогда в течение трех дней в Куйбышевском водохранилище в месте проведения соревнований по хай-дайвингу (река Казанка) поддерживался заданный постоянный уровень воды за счет согласованной работы гидроузлов трех водохранилищ: Чебоксарского, Нижнекамского и Куйбышевского.

Во II квартале 2018 года в связи с проведением матчей чемпионата мира по футболу в г. Волгограде по инициативе Комитета природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Волгоградской области (далее – Облкомприроды) была поставлена задача обеспечить такой режим работы гидроузла Волгоградского водохранилища, который позволил бы минимизировать вылет кровососущих мошек при условии удовлетворения требований участников водохозяйственного комплекса Нижней Волги.

Ежегодный вылет кровососущих мошек наблюдается в Волгоградской и Астраханской областях в конце мая – июле. Мошки очень назойливы, а укусы их крайне болезненны, вызывают зуд и опухоли. В настоящее время твердо установлено, что мошки переносят ряд заболеваний человека в тропиках и многие болезни домашних и диких животных (Денисов, Иванцова, 2016). Высокая вероятность вылета мошек в дни проведения чемпионата создавала угрозу нарушения санитарно-эпидемиологического благополучия, что неминуемо повлекло бы нарушение правительственных гарантий, данных Международной федерации футбольных ассоциаций.

## Материалы и методы

*Исследование связи этологических характеристик мошки с гидрологическими и температурными режимами Нижней Волги.* «Мошкой» принято обобщенно называть кровососущих мошек семейства Simuliidae. На территории Волгоградской области наиболее массовыми являются пять видов: *Titanopteryx macuiata* Mg. (мошка полосатая, мошка обыкновенная), *Schonbaueria matthiesseni* End., *Odagmia rnate* Mg. (одагимия пятнистая, мошка украшенная), *Boophtora erythrocephala* De Geer. (мошка красноголовая), *Simuhum morsitans* Edw (Денисов, Иванцова, 2016). Из них самой многочисленной является мошка обыкновенная (*Titanopteryx macuiata* Mg.). Биологический цикл мошки включает все стадии преимагинального метаморфоза: яйца, личинки, куколки.

Идея управления численностью имаго мошки с помощью режима специального весеннего попуска через гидроузел Волгоградского водохранилища была основана на научных публикациях (Кошкарова, Пироговский, 2013; Пироговский, Кушникова, 2009,), где указывалось на «наличие прямой связи между урожайностью мошек и высотой уровня воды в Волге и величиной объема половодья» и на то, что «вылет имаго наблюдался только на спаде уровня воды в коренном русле реки». То есть, согласно этим представлениям, уменьшая объем попуска и максимальный сброс, можно было бы минимизировать численность кровососов, а изменяя сроки его окончания, – избежать массового вылета в период проведения чемпионата.

По данным фенологических наблюдений за мошкой в Волгоградской области за 2001-2017 гг., представленным Управлением Роспотребнадзора по Волгоградской области, были построены диаграммы, где ход уровня воды в Волго-Ахтубинской пойме и в дельте р. Волги был совмещен с графиком изменения численности имаго мошки (рис. 1).

Из анализа построенных графиков следовало, что наличие однозначной связи между объемом половодья и численностью мошки не нашло подтверждения и что вылет имаго наблюдается не только на спаде уровня воды в коренном русле реки. В ряде лет начало вылета (2005-2008, 2011-2014, 2017) и пик численности (2007, 2011, 2017) имаго наблюдался при стабильных, относительно высоких уровнях воды.

Графики, на которых изменения численности имаго были совмещены со среднесуточным ходом температур воздуха на близлежащих метеостанциях, показали, что вылет мошки, как правило, совпадает с прогревом воздуха до 15-20°С и воды до 14-16°С и не зависит от изменения уровней воды в этот период, что ожидаемо, так как «температура – важнейшее из условий, влияющих на жизнедеятельность организма» (Бигон и др., 1989, с. 65).

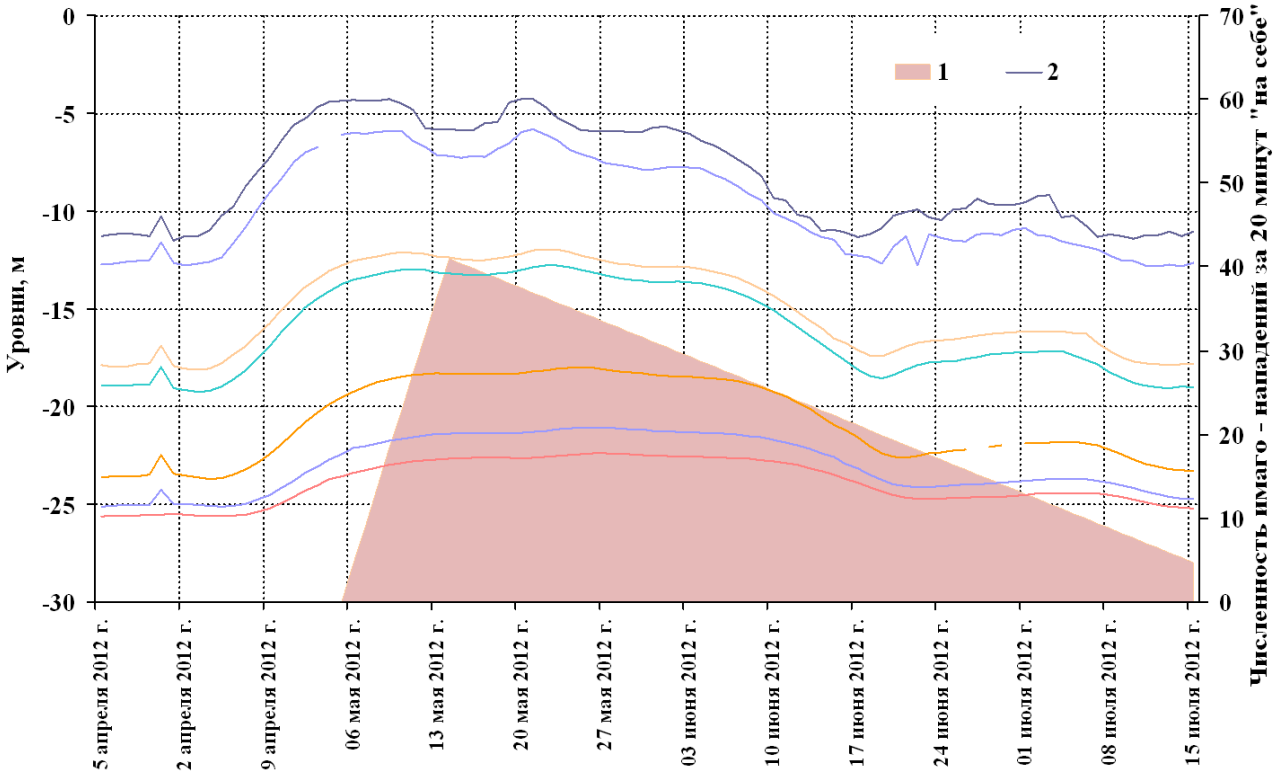



**Рис. 1.** Ход уровней воды в низовьях р. Волги и показатели численности имаго мошки в 2012 г. *Условные обозначения:* 1 – среднесезонный показатель численность имаго, 2 – уровни воды на водпостах (сверху вниз): Волгоград, Светлый Яр, Черный Яр, Енотаевка, Верхне-Лебяжье, Астрахань, Ахтубинск.

## Результаты и обсуждение

Попытка установить зависимость количества мошки от объемов сбросов через Волгоградский гидроузел во втором квартале 2001-2017 гг., нанеся соответствующие данные на график, однозначно показала полное отсутствие такой взаимосвязи ($R^2$=0.005).

На основании имевшихся сведений об этологии мошки было сделано предположение о зависимости ее численности в текущем году от уровней воды, при которых осуществлялась кладка яиц мошки в предшествующем году. Учитывая, что в течение теплого периода года вплоть до октября могут появляться несколько генераций мошек, в качестве соответствующей гидрологической характеристики был выбран объем сбросов воды через Волгоградский гидроузел за III квартал. Нанесение на график соответствующих точек (рис. 2) показало наличие такой связи, хотя и недостаточно тесной ($R^2$=0.328).

На рисунке 2 наибольшее отклонение от аппроксимирующей зависимости имеют точки, соответствующие 2005 и 2016 годам. В эти годы объемы спецпопуска были максимальными за рассматриваемый период. Это позволило подтвердить возможность установления связи между параметрами попуска и численностью мошки всё же имеется.

Согласно имеющимся сведениям, отрождение личинок мошки обыкновенной (*Titanopteryx maculata* Mg.) происходит весной при температуре воды выше 8-10°С. В фазе личинки мошки пребывают 3-4 недели. Поэтому в качестве исследуемого показателя был выбран 3-х недельный (21-

дневный) максимальный объем сбросов (средний сбросной расход) через Волгоградский гидроузел при температурах воды выше 8-9°С. Была установлена тесная связь ($R^2$=0.895) между указанным расходом и отклонением фактической численности мошек от аппроксимирующей экспоненты (рис. 3). Эта связь наилучшим образом описывается полиномом второго порядка:

$$\Delta s=0.3987q^2-14.983q+144.11 \quad (1),$$

где $q$ – максимальный осредненный за 21 день расход сбросов воды через Волгоградский гидроузел во II квартале рассматриваемого года при температуре воды выше 8-9°С (м$^3$/с).

Окончательный вид формулы, описывающий связь средней за сезон численности мошки с параметрами режима работы Волгоградского гидроузла:

$$s=43111e^{-0.168W_{III}}+\Delta s \quad (2),$$

где $W_{III}$ – объем сбросов через Волгоградский гидроузел в III квартале предыдущего года (км$^3$), $\Delta s$ – поправка, рассчитываемая по формуле (1).

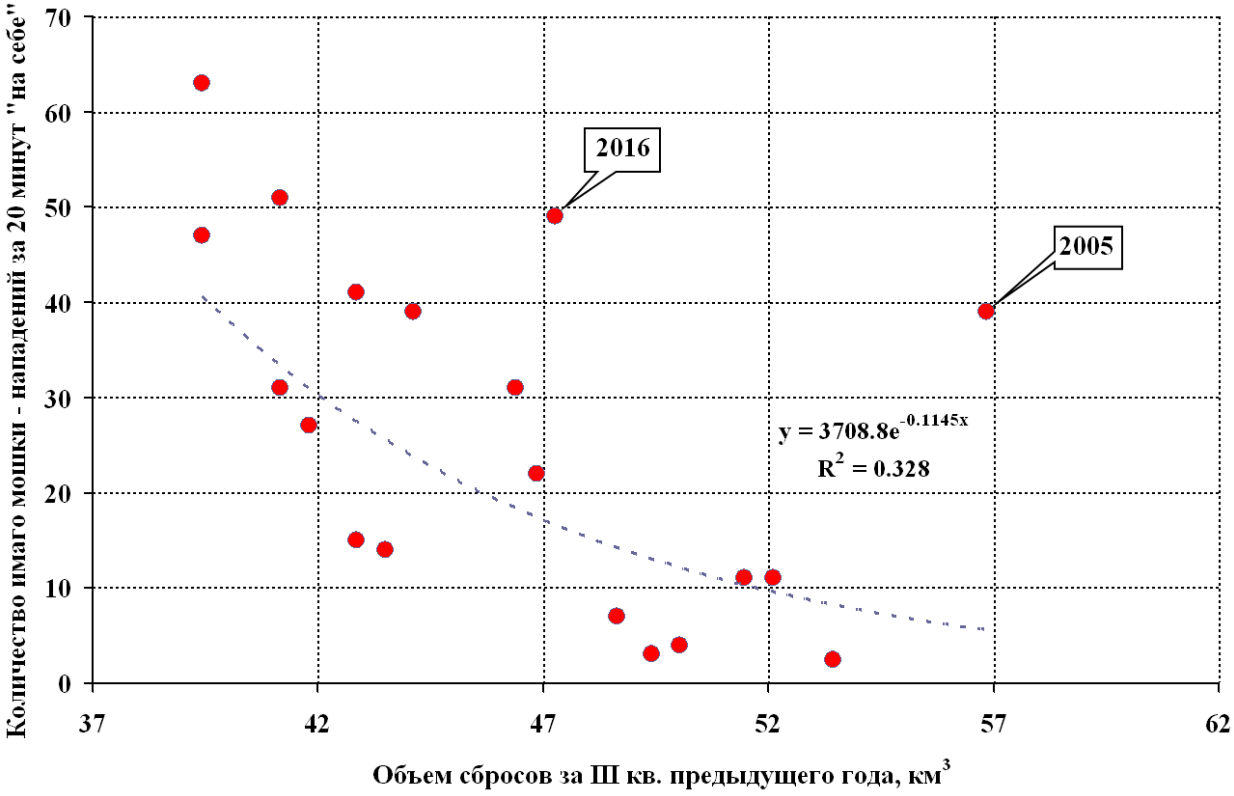



**Рис. 2.** Зависимость количества мошек от объема сбросов III квартала предыдущего года.

Полученная зависимость (2) указывает на то, что связь между численностью мошки и параметрами спецпопуска существует (но не с его объемом, как предполагалось изначально) и имеется возможность управления численностью мошки величиной сбросного расхода в период её личиночного развития (в течение 3 недель после превышения температуры воды 8-9°С). Хорошая сходимость зависимости (2) с фактическими данными ($R^2$=0.88) позволяет использовать её для моделирования и прогнозирования количества мошки.

*Разработка и реализация режима работы водохранилищ Волжско-камского каскада, обеспечивающего минимизацию вылета имаго мошки.* На основе полученных связей численности имаго мошки с параметрами режима сбросов через Волгоградский гидроузел, требований к обеспечению благоприятной водохозяйственной обстановки на территории Волго-Ахтубинской поймы и в дельте Волги и выполнения положений Правил использования водохранилищ каскада (в случае, когда эти требования не являлись взаимно противоречивыми) были сформулированы принципы построения графика спецпопуска 2018 года, минимизирующего вылет мошки.

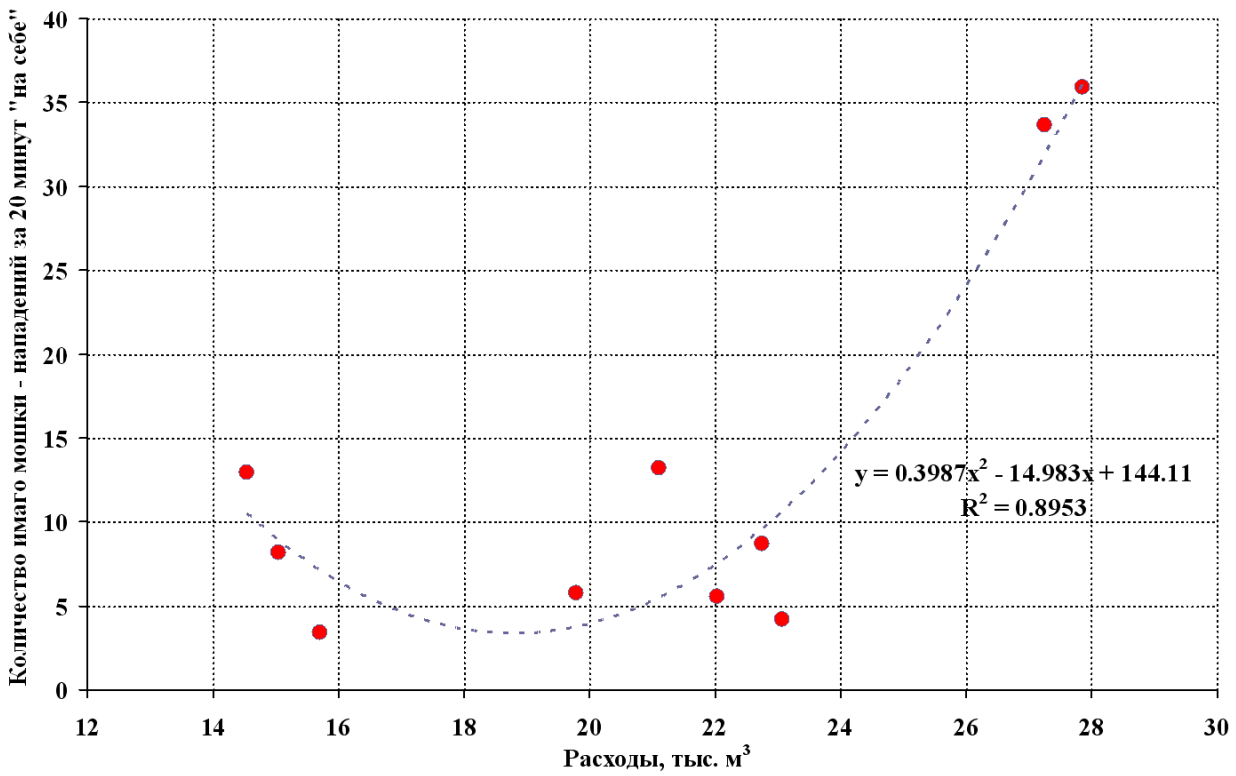



**Рис. 3.** Зависимость приращения количества мошек от максимального осредненного за 21 день расхода сбросов через Волгоградский гидроузел.

Максимальные сбросные расходы 25000-27000 м$^3$/с («сельскохозяйственная полка» графика) должны осуществляться в течение не менее 7, но не более 12 дней с максимально ранним, желательно до 1 мая, их завершением. Максимальная величина расходов «рыбохозяйственной полки» графика спецпопуска не должна превышать 18000 м$^3$/с. Переход от «сельскохозяйственной полки» к «рыбохозяйственной» должен быть максимально быстрым. Любое увеличение сбросных расходов после выхода на «рыбохозяйственную полку» недопустимо.

График спецпопуска, разработанный накануне его начала на основе перечисленных принципов, имел объем 124.8 км$^3$ (рис. 4). В разработанном графике предлагалось при переходе от максимальных расходов к расходу 18000 м$^3$/с осуществить кратковременное (на 4 суток) снижение сбросов до 12000 м$^3$/с, которое должно было вызвать гибель личинок мошек на ранних стадиях развития. Как показали гидравлические расчеты, это не вызывало бы сколь-либо значимого снижения уровней воды в дельте Волге и не сказалось бы на нересте рыб в Астраханской области.

Физическая возможность планирования и выполнения графика спецпопуска, построенного по перечисленным выше принципам, определялась складывавшейся водохозяйственной обстановкой на водохранилищах каскада и гидрометеорологическими условиями. Фактический график спецпопуска в 2018 году имел объем 117.7 км$^3$ и отличался по форме от графика, представленного на рисунке 5.

При осуществлении и планировании спецпопуска учитывались данные результатов испытаний образцов материалов, отобранных в акватории и береговой зоне водных объектов для определения преимагинальных стадий развития кровососущих двукрылых насекомых семейства Simuliidae, выполненных Волгоградским государственным университетом по заказу Облкомприроды.

Отбор проб осуществлялся на 7 участках. На каждом из участков было определено от 3 до 20 створов, где отбиралось до 8 проб. Результаты испытаний содержали для каждого створа качественное описание обнаруженных объектов исследования и их встречаемость в баллах (от 0 до 9 баллов).

Результаты анализа проб, взятых в марте, показали, что яйца мошек встречались на всех участках наблюдений, во многих створах наблюдалось их массовое скопление. Наибольшее количество массовых скоплений было обнаружено в Волгоградском водохранилище, в р. Волге в

непосредственной близости от гидроузла и в рукаве Ахтуба, а также в водоемах Волго-Ахтубинской поймы.

На дату начала спецпопуска количество яиц мошек в створах, расположенных на Волгоградском водохранилище, заметно сократилось. Ниже гидроузла высокая концентрация яиц сохранялась, хотя и наблюдалось снижение по сравнению с результатами испытаний проб, выполненных в конце марта. В период осуществления спецпопуска количество мошки в преимагинальных стадиях сохранялось примерно на одном уровне.

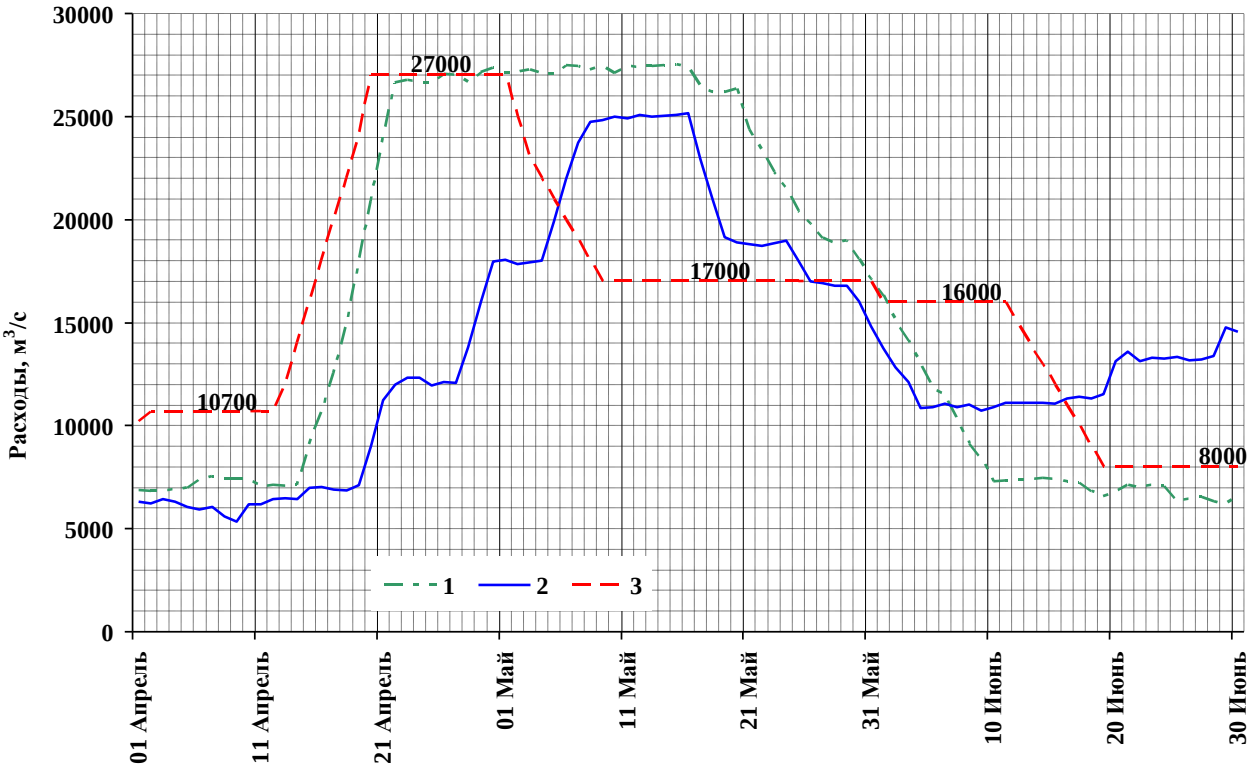



**Рис. 4.** График специального весеннего попуска через гидроузел Волгоградского водохранилища во II квартале 2018 г., разработанный 11.04.2018. *Условные обозначения:* 1 – попуск 2016 г., фактический объем 127.3 км$^3$; 2 – попуск 2017 г., фактический объем 109.1 км$^3$; 3 – попуск 2018 г., расчетный объем 127.3 км$^3$.

Первый лёт мошек был зафиксирован 28 мая и пришелся на завершающую фазу спецпопуска. Однако в связи ухудшением погоды и снижением температуры воздуха к 1 июня лёт прекратился и сохранялся на низком уровне до 8 июня.

Со второй декады июня интенсивность лёта начала расти, достигнув пика в период 17-20 июня, который совпал со временем проведения матча чемпионата мира по футболу между сборными Англии и Туниса (Мошки …, 2018). К этому времени температуры воды везде превысили +20°С, воздух прогрелся до +30°С. Тогда же была предпринята попытка осушить часть личинок и куколок мошки, уменьшив на несколько дней сброс до 7000 м$^3$/с. Последующие наблюдения за лётом мошки показали спад его интенсивности с прекращением к концу первой декады июля.

Анализ количественных характеристик лёта мошки в июне-июле 2018 года (табл.) показал, что число нападений было существенно ниже среднего максимального значения, рассчитанного за 2000-2017 гг. Наименее интенсивный лёт наблюдался на участке 1 (Волгоградское водохранилище), наиболее интенсивный был на участке 4 (Волго-Ахтубинский канал).

Количественно оценить, в какой степени низкая (относительно среднемноголетних показателей) численность имаго мошки была достигнута только за счет режимов работы Волгоградского гидроузла, достаточно сложно. Следует учитывать борьбу с яйцами мошек до начала половодья и инсектицидную обработку водоемов в период личиночной фазы.

Однозначный вывод о значительном положительном эффекте от режима спецпопуска можно сделать для участка 1 (Волгоградское водохранилище), где в период с третьей декады апреля по первую декаду июня уровни воды поддерживались на 1.0-1.5 м ниже нормального подпорного уровня. Это привело к их осушению и частичной гибели, что подтверждено результатами отбора проб.

Заметный положительный эффект реализованного режима спецпопуска для нижнего бьефа Волгоградского гидроузла был достигнут за счет максимально раннего осуществления «сельскохозяйственной полки» и ее раннего и интенсивного завершения (в период 7-13 мая), т.е. до достижения температурой воды величин, необходимых для начала развития личинок. Об этом может свидетельствовать сопоставление результатов отбора проб при примерно одинаковых уровнях воды в начале попуска и после завершения максимальных сбросов.

**Таблица.** Максимальные значения интенсивность лёта имаго мошек в 2018.

| **Расположение участков отбора проб** | **Количество нападений за 20 минут «на себе», шт.** | **Отношение к среднему максимальному, %** |
|---|---|---|
| 1) Волгоградское водохранилище | 62 | 15 |
| 2) река Волга | 187 | 45 |
| 3) рукав Ахтуба | 205 | 50 |
| 4) Волго-Ахтубинский канал | 220 | 53 |
| 5) ерики Волго-Ахтубинской поймы | 170 | 41 |
| 6) озёра Волго-Ахтубинской поймы | 95 | 23 |
| 7) водные объекты г. Волгограда | 90 | 22 |

При имеющемся объеме данных затруднительно оценить величину уменьшения количества мошек от снижения сбросных расходов с 14000 до 11000 м$^3$/с в период с 2 по 8 июня, так как в это время имел место баланс между снижением преимагинальных стадий мошек из-за падения уровня и их приращением за счет их развития на больших глубинах.

Эффект от снижения сбросов с 11000 м$^3$/с 12 июня до 7000 м$^3$/с на период с 17 по 20 июня оценить ещё сложнее, так как температура воды достигла значения +20°С, спровоцировав массовый лет имаго мошки. Данных о фактическом количество личинок и куколок, погибших в результате их осушения, нет. Кроме того, известно, что личинки подвижны и способны мигрировать при изменении уровня воды в водоеме в поиске подходящего для колонизации субстрата.

## Выводы

1. За счет координации с работами по фенологическому мониторингу за преимагинальными стадиями кровососущих двукрылых насекомых семейства Simuliidae (кровососущие мошки) в водных объектах и прилегающих к ним территориях в 2018 году был осуществлен режим ежегодного специального весеннего попуска, позволивший, по объективным показателям, минимизировать численность кровососущих мошек в подготовительный период и период проведения в Волгограде матчей чемпионата мира по футболу 2018 года.

2. Осуществленный режим спецпопуска при объеме притока ниже нормы обеспечил в целом благоприятную водохозяйственную обстановку на территории Волго-Ахтубинской поймы и дельты Волги, включая заполнение водоемов Волго-Ахтубинской поймы, влагозарядку пойменных сельскохозяйственных угодий на Нижней Волге, длительный период поступления воды в Западные подстепные ильмени, продолжительный период поддержания повышенных уровней воды в дельте Волги и пониженную интенсивность снижения уровней воды на спаде половодья, способствующие успешному нересту ценных видов рыб.

3. В ходе выполнения работы проявилась недостаточность объема и состава архивных данных фенологического мониторинга как за преимагинальными стадиями кровососущих мошек, так и за количеством и сроками лета имаго мошки. Представляется целесообразным продолжение (и расширение) регулярного фенологического мониторинга за кровососущими мошками в

последующие годы с целью накопления необходимого объема данных.

4. На основе выполненных работ может быть создана математическая модель жизненного цикла кровососущих мошек, увязанная с гидродинамической моделью Нижней Волги. Подобные модели могут быть созданы и для других компонентов экосистемы Волго-Ахтубинской поймы и дельты р. Волги, например, для ценных промысловых видов рыб, которые позволят прогнозировать, а в определенных случаях и регулировать, их численность за счет изменения режимов попусков через Волгоградский гидроузел.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К.* 1989. Экология. Особи, популяции и сообщества: В 2-х т. Т. 1. М.: Мир. 667 с.+ил.

*Денисов А.А., Иванцова Е.А.* 2016. Эколого-биологическая характеристика кровососущих мошек (Diptera, Simuliidae) на территории Волгоградской области зоны Нижнего Поволжья // Известия Оренбургского аграрного университета. № 3(59). С. 202-203.

*Кошкарова Л.М., Пироговский М.И.* 2013. Особенности биологии мошек биотопов дельты реки Волги // Научная мысль информационного века. Биологические науки [Электронный ресурс http://www.rusnauka.com/8_NMIV_2013/Biologia/7_131137.doc.htm (дата обращения: 09.10.2018 г.)].

*Крицкий С.Н., Менкель М.Ф.* 1952. Водохозяйственные расчеты. Л.: Гидрометеоиздат. 392 с.

Мошки атаковали англичан и тунисцев в Волгограде. 2018. Газета.ru [Электронный ресурс https://www.gazeta.ru/sport/worldcup2018/news/2018/06/19/n_11673091.shtm (дата обращения: 21.11.2018 г.)].

*Пироговский М.И., Кушникова С.Н.* 2009. Экология и особенности биологии мошек Sumuliidae дельты Волги // Естественные науки (г. Астрахань). № 3 (28). С. 29-36.

Справочник: термины и определения в водном хозяйстве. 2013 / Ред. Н.Г. Рыбальский, В.А. Омельяненко. М.: НИА-Природа. 465 с.

ASCE (AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS). 1998. Sustainability Criteria for Water Resource Systems. Reston, Va., ASCE. 253 p.

*Loucks D.P., van Beek E., Stedinger J.R., Dijkman J.P.M., Villars M.T.* 2005. Water Resources Systems Planning and Management: An Introduction to Methods, Models and Applications. UNESCO Publishing, Paris. 624 p.

*Simonovic S.P.* 2009. Managing Water Resources: Methods and Tools for a System Approach. UNESCO Publishing, London, Sterling, VA. 690 p.

ISSN 1993-3916

**ЖУРНАЛ АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ 2019. Т. 25. № 4 (81)**

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 ноября 2019 г.

ТОВАРИЩЕСТВО НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ КМК

| | |
|---|---|
| Формат 60х 84 $^1/_8$ | Объем 11 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

**Индекс 39775 (каталог «Пресса России»)**