*ISSN 1993-3916*

**Том 25 Номер 1 (78) Март 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 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, 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, № 1 (78), 2019, март**
Журнал основан в январе 1995 г.
Выходит 4 раза в год

*Главный редактор*
доктор биологических наук, профессор
З.Г. Залибеков**

*Заместитель главного редактора*
доктор географических наук
Ж.В. Кузьмина*

*Редакционная коллегия:*
Б.Д. Абатуров, С.-В. Брекле (Германия), К.Б. Гонгальский, П.Д. Гунин,
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),
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: bfdgu@mail.ru

Москва: Товарищество научных изданий КМК
**2019**

# СОДЕРЖАНИЕ

**Том 25, номер 1 (78), 2019 март**

## СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Полупустыня – парадокс XX века
*И.Н. Сафронова* 3-9

Экологическая адаптация сельскохозяйственного землепользования
в условиях изменения климата в республике Бурятия
*Т.А. Болданов, Г.Д. Мухин* 10-19

Феноспектр ольхи черной (*Alnus glutinosa* Gaertn.)
в экотопах центральной части степной зоны Европейской России
*Т.А. Турчина* 20-31

## ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

Экспериментальные исследования солепереноса на оросительных системах
*А.П. Белоусова* 32-42

К вопросу о восстановлении плодородия дефлированных сухостепных почв
(на примере модельных лабораторных опытов)
*Г.Д. Чимитдоржиева* 43-48

Почвенно-агрохимическая характеристика Светлоярского орошаемого участка
в Волгоградской области
*И.Н. Горохова, Т.Н. Авдеева, Е.И. Панкова, К.О. Прокопьева* 49-60

Продукционный потенциал восстановленных пастбищ
Северо-Западного Прикаспия
*Л.П. Радочинская, А.К. Кладиев, Л.П. Рыбашлыкова* 61-68

Оценка распространения редких видов птиц в региональных
аридных биомах России – основа для их охраны
*Л.Г. Емельянова* 69-78

## ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Многолетняя динамика и сезонные изменения гидрохимии
бассейна оз. Иссык-Куль (Кыргызстан)
*Т. Асанкулов, Ц. Абудувайли, Г. Исанова, М. Лонг, Э. Дуулатов* 79-87

*АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2019, том 25, № 1 (78), с. 3-9*

**СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

*УДК 581.5*

# ПОЛУПУСТЫНЯ – ПАРАДОКС XX ВЕКА[1]

**© 2019 г. И.Н. Сафронова**

*Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН*
*Россия, 197376, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 2. E-mail: irasafronova@yandex.ru*

Поступила в редакцию 25.05.2018. После доработки 25.05.2018. Принята к публикации 25.06.2018.

Степная зона занимает большое пространство на юге Европейской части России. Часть Прикаспийской низменности относится к пустынной зоне. Некоторые исследователи наряду со степной и пустынной зонами выделяют еще одну зону – полупустынную. Парадокс состоит в том, что полупустынного типа растительности нет, никаких типичных для полупустыни элементов не существует, но полупустынная зона выделяется.
*Ключевые слова*: зона, подзона, тип растительности, полупустыня, опустыненные степи.
**DOI: 10.24411/1993-3916-2019-00039**

Степная зона занимает большое пространство на юге Европейской части России. От Крымского полуострова и Азовского моря она сплошной полосой идет на северо-восток почти до Самары и далее – на восток до Южного Урала, огибая его, затем продолжается в Казахстане и восточнее в пределах России уже не образует единого массива. К югу степная зона сменяется пустынной зоной. В Европе пустынная зона занимает часть Прикаспийской низменности, являясь западной окраиной обширной зоны умеренных пустынь Евразии. Ряд исследователей на Прикаспийской низменности выделяют еще одну зону – полупустынную (Никитин, 1954; Зонн, 1995; Трофимов, 1995; Бананова, Лазарева, 1997; Николаев и др., 1997).

## Возникновение термина «полупустыня» и критерии его выделения

Впервые термин «полупустыня» применили Н.А. Димо и Б.А. Келлер (1907) по отношению к северной части возвышенности Ергени. Они рассматривали полупустыню как зону, для которой характерны степные и пустынные сообщества (степными были названы злаковые сообщества на светлокаштановых почвах, пустынными – полукустарничковые на солонцах). Полупустынная зона была включена в первую схему зонального районирования России (Берг, 1913, 1955), и ее выделение стало традиционным. Появление термина «полупустыня» в начале прошлого века оправдано, так как в первой четверти XX века только начиналось изучение аридной растительности, о закономерностях которой было известно немного, а понятия «степь» и «пустыня» были еще не сформулированы. Лишь в 1940 году Е.М. Лавренко дал определение степного типа растительности, а Н.А. Прозоровский − пустынного типа растительности.

Выделение природных зон, как известно, обусловлено сменой биоклиматических условий. Каждая зона характеризуется особым типом растительности, соответствующим этим условиям. Б.А. Келлер (1923, 1938) сделал попытку определить полупустынный тип растительности для территории между 50° с.ш. и 48° с.ш., но геоботаники не согласились с его определением (Прозоровский, 1940; Левина, 1964; Лавренко, 1980). Несмотря на это, и сегодня термин «полупустыня» широко используется разными специалистами.

За прошедшее с тех пор время накопилось много данных, позволяющих поставить под сомнение рациональность выделения полупустыни в самостоятельную зону. Прежде всего, признак, на основании которого она была выделена, а именно, − комплексность, которая не является для нее атрибутивной (Николаев и др., 1997). Комплексность встречается по всей степной и пустынной зоне и отмечена в лесостепи (Сафронова, 1971, 1979; Карамышева, Рачковская, 1973; Карта

[1] Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 15-05-06773, гранта РФФИ 18-05-00688 и по плановой теме АААА-А17-117071760037-0.

растительности Казахстана …, 1995; Рачковская, 2004).

Часто полупустыня определяется как зона, для которой характерны опустыненные степи. Иногда она делится на две подзоны: северных и южных полупустынь, которые называются, соответственно, опустыненными степями и остепненными пустынями. Но чаще всего полупустыню объединяют с пустыней.

Термин «опустыненные степи» появился в литературе в 1940 году, когда А.В. Прозоровский назвал их зональными для северной «полупустыни». Тогда же Е.М. Лавренко включил полосу распространения опустыненных степей в степную зону в качестве ее южной подзоны.

Степная зона делится на три широтные подзоны: северную засушливых степей, среднюю сухих степей и южную опустыненных степей. Все подзоны хорошо выражены на юге Европейской России. Для каждой подзоны климатические условия специфичны. В северной подзоне выпадает 350-400 (450) мм осадков, в средней − 300-350 мм, в южной − 250-300 мм; средняя температура января составляет соответственно: -14-16°С, -11-14°С, -10-11°С; средняя температура июля: +19-20°С, +21-24°С, +24-25°С; сумма температур выше 10°С увеличивается от 2200-2500 (2800)°С в северной подзоне и 2500-3000° в средней до 3000-3400° в южной (Атлас …, 1974, 1982, 1997). Изменения климатических показателей находят отражение в спектре зонально-экологических вариантов, в структуре их сообществ. В северной подзоне в сообществах обильно разнотравье, для нее характерны разнотравно-типчаково-ковыльные степи. В средней подзоне степи типчаково-ковыльные, в их сообществах мало разнотравья, оно более ксерофитное, чем севернее. В южной подзоне степи полынно-ковыльные, в сообществах содоминируют две жизненные формы − плотнодерновинные злаки (виды родов *Stipa, Festuca, Agropyron, Koeleria*) и полукустарнички (виды рода *Artemisia* из подрода *Seriphidium, Kochia prostrata*[2], *Camphorosma monspeliaca* и др.).

Многолетние экспедиционные работы на Прикаспийской низменности привели нас к твердому убеждению, что так называемая «полупустыня» принадлежит к степной зоне (Сафронова, 2010; Сафронова, Юрковская, 2015). Мы присоединяемся к исследователям, которые вслед за Е.М. Лавренко (1947, 1954, 1956, 1970, 1980) рассматривают зону полупустынь Б.А. Келлера или северных полупустынь А.В. Прозоровского как подзону опустыненных степей степной зоны, а южных полупустынь А.В. Прозоровского – как подзону северных пустынь пустынной зоны (Рубцов, 1952; Иванов, 1953, 1958; Быков, 1955; Карамышева, Рачковская, 1973; Сафронова, 1975, 2002, 2005, 2006; Культиасов, 1981; Лавренко и др., 1991; Карамышева, 1993).

Подзона опустыненных степей заключена приблизительно между 48° с.ш. и 50°с.ш. от р. Волги (45° в.д.) до Зайсанской и Алакольской котловин (83° в.д.); западнее р. Волги она имеет почти меридиональное направление по возвышенности Ергени и Прикаспийской низменности до р. Терек (Карта геоботанического ..., 1947; Геоботаническая карта …, 1954; Лавренко, 1970; Карта растительности Европейской …, 1979; Карта растительности СССР, 1990; Карта растительности Казахстана …, 1995; Карта восстановленной …, 1996; Зоны и типы …, 1999а, 1999б; Karte der natürlichen …, 2000а, 2000б).

## О полукустарничках в степной зоне и дерновинных злаках в пустынной зоне

Биоклиматическим условиям зоны в наибольшей степени соответствуют растительные сообщества плакоров, получившие название «зональные». В степной зоне зональный тип представлен сообществами плотнодерновинных ковылей с содоминированием разнотравья в северной части и полукустарничков в южной. Не все ковыльные сообщества являются степными. В пустынной зоне они могут быть результатом антропогенного влияния. Зонально-экологические варианты зонального степного типа растительности (петрофитные, псаммофитные, гемипсаммофитные и т.д.) могут состоять из сообществ как плотнодерновинных злаков (роды *Agropyron, Festuca, Koeleria,* в том числе *Stipa* и др.), так и других жизненных форм: травянистых многолетников, кустарников, полукустарничков.

В пустынной зоне Прикаспия и Турана господствующей жизненной формой является полукустарничек. В зональных типах сообществ доминируют полукустарничковые виды рода *Artemisia* из подрода *Seriphidium.* Зонально-экологические варианты представлены сообществами как

[2] Названия растений даны по работе S.K. Cherepanov (2007).

полукустарничков (в основном из семейства *Chenopodiaceae*), так кустарников и полукустарников. Не все полукустарничковые сообщества являются пустынными, существуют и степные.

Новые данные по экологии различных жизненных форм позволили изменить их традиционное восприятие. Так, полукустарничковые ценозы на засоленных почвах долгое время считались сообществами пустынного типа в пределах степной зоны и в легендах к картам их выделяли особым подразделом (Лавренко, 1956; Карта растительности степной …, 1975; Карта растительности Европейской …, 1979).

Удивляет, что в наше время продолжает бытовать мнение о том, что «полукустарничек» – это жизненная форма, определяющая принадлежность к пустыне, а, следовательно, и полукустарничковые сообщества, широко распространенные в степной зоне по солонцам и выходам пород, являются пустынными.

Известно, что:

− некоторые полукустарнички почти полностью принадлежат степной зоне, лишь изредка встречаясь в пустынной (*Artemisia lessingiana, A. nitrosa, A. salsoloides, A. taurica, Thymus* spp.);

− есть полукустарнички, имеющие фитоценотический оптимум в степной зоне, но играющие заметную роль в растительном покрове пустынной зоны (*Artemisia pauciflora*);

− есть полукустарнички, имеющие фитоценотический оптимум в пустынной зоне, но формирующие сообщества в степной зоне по солонцам, выходам пород или нарушенным местам (*Artemisia lerchiana, Anabasis salsa, Nanophyton erinaceum*);

− и, наконец, есть пустынные полукустарнички (*Artemisia kemrudica, Salsola gemmascens*), приуроченные только к пустынной зоне.

Полукустарничковые сообщества в степной зоне обычно приурочены к засоленным и каменисто-щебнистым почвам и представляют собой галофитные и петрофитные экологические варианты, лишь внешне напоминающие пустыни. В работе «Степи Евразии» (Лавренко и др., 1991) они отнесены к особому типу растительности − *Sufruticeta* (ранее часть из них называлась тимьянниками; Высоцкий, 1915; Козо-Полянский, 1931; Лавренко, 1956, 1980). Исходя из широкого понимания типа растительности, мы такие сообщества рассматриваем как полукустарничковый подтип степного типа растительности (Сафронова, 2010).

Раннее считалась, что злаки не характерны для пустынной зоны. При составлении карты растительности пустынь Казахстана и Средней Азии (Ботаническая география …, 2003) большой коллектив геоботаников получил данные, изменившие наше представление о них:

− некоторые виды злаков (*Stipa sareptana, S. lessingiana, Agropyron fragile, Poa bulbosa*), имея фитоценотический оптимум в степной зоне, входят в состав сообществ на песчаных и каменисто-щебнистых почвах в пустынной зоне;

− существуют пустынные виды ковылей (*Stipa hohenackerana, S. caspia*).

## Неопределенность содержания термина

Удивительна живучесть термина, так как с момента возникновения и до настоящего времени его содержание неопределенно и разными специалистами (географами, экологами, почвоведами, зоологами и др.) в научной, учебной и справочной литературе понимается по-разному. Как указывает Г. Вальтер (1975), элементов, типичных для полупустыни, не существует. Несмотря на это, термин широко вошел в литературу (Краткая географическая энциклопедия, 1962; Барков, 1964; Меньчугов, 1966; Быков, 1967; Энциклопедический словарь ..., 1968; Мильков, 1977; Фукарек и др., 1982; Агаханянц, 1986; Ботанико-фармакологический словарь, 1990; Реймерс, 1991; Петров, 2001; География и экология …, 2005).

Необходимо упомянуть об отличии в понимании терминов «пустыня» и «полупустыня» западноевропейскими учеными, которые относят к пустыням территории, полностью лишенные растительного покрова, а при его наличии употребляют термин «полупустыня» (Ozenda, 1994).

Несомненно, выживанию термина способствует антропогенное влияние. Растительный покров опустыненных степей России издавна интенсивно используется человеком в качестве пастбищ, пахотных угодий и для сенокосов. В настоящее время он значительно изменен и в нем часто доминируют динамически неустойчивые группировки и сообщества. Нерациональное природопользование является одной из причин доминирования местами полукустарничковых

ценозов в степной зоне. При распашке полынно-дерновиннозлаковых степей одной из стадий восстановления залежей является полынная, т.е. физиономически пустынная. Такой же вид приобретают степи при сильном выпасе, когда уничтожаются злаки и разрастается полынь. Автор термина «полупустыня» Б.А. Келлер (1923) писал, что растительность в результате выпаса скота изменяется на «типичных полупустынных участках и даже на травяно-степных» таким образом, что становится похожей на пустынную.

Неудачен термин «полупустыня» не только по содержанию, но и с номенклатурной стороны. Очень справедливо отмечает Н.В. Павлов (1948), что данный термин ничего не говорит о сути, определяет только неполноту одного из типов растительности и мог бы быть заменен термином «полустепь».

**Выводы**

− Парадокс состоит в том, что *полупустынного типа растительности не существует*, как и типичных для полупустыни элементов, но полупустынная зона выделяется.

Надо сказать, что порой геоботаники противоречат сами себе. Так, А.В. Прозоровский (1940), считая, что полупустынного типа растительности не бывает, а полупустыня – это явление не геоботаническое, а географическое, все же выделил, к сожалению, область полупустынь, которую разделил на северную полупустыню с опустыненными степями и южную полупустыню с полукустарничковыми пустынями. Он отметил, что в пределах зоны «северной полупустыни» сообщества плотнодерновинных злаков преобладают по площади. Наши картометрические подсчеты это подтверждают. Полукустарничковые сообщества в соответствующих экологических условиях могут преобладать по площади и в других подзонах степной зоны, а не только на юге.

− *Не существует полупустынной флоры.*

Ф.Я. Левина (1964, с. 59) пишет: «Обращает на себя внимание отсутствие специфических видов во флоре растительности водораздельных равнин полупустыни Северного Прикаспия. <…> В данной зоне собственно полупустынный тип растительности как таковой отсутствует» (Левина, 1964, с. 68).

− *Не существует особого полупустынного типа почв.*

Первоначально Б.А. Келлер (1923, 1938) включил в полупустынную зону территорию со светлокаштановыми и бурыми комплексными почвами, затем – только со светлокаштановыми. Имеются разные точки зрения о зональном статусе светлокаштановых и бурых почв. Некоторые почвоведы объединяют их под названием «полупустынные» (Классификация и диагностика …, 1977; Гаврилова и др., 1995; Карта почвенно-экологического …, 1997); другие считают светлокаштановые почвы степными, бурые – пустынными (Успанов, 1947; Успанов, Фаизов, 1971; Юго-Восток …, 1971). Растительный покров соответствует именно последнему пониманию. На геоботанических картах хорошо видна разница растительного покрова на светлокаштановых и бурых почвах. На светлокаштановых суглинистых незасоленных или слабозасоленных почвах составляют основу дерновинные злаки. На бурых суглинистых почвах на плакорах в естественных условиях никогда не формируются растительные сообщества не только с доминированием, но и с участием в них плотнодерновинных злаков. Отнесение светлокаштановых и бурых почв к полупустынным привело к исчезновению пустынной зоны на юге Европейской России.

− *Не существует полупустынного типа климата.*

Максимум осадков в полосе светлокаштановых почв приходится на летнее время (июнь и июль), как во всей степной зоне, а в полосе бурых почв – весной (Климат Казахстана, 1959). Это отмечал и Б.А. Келлер (1923).

Таким образом, никаких оснований для выделения полупустынной зоны нет. Оно является традиционным и при этом не отвечает природному потенциалу данной широтной полосы.

Восстановление биоразнообразия природных систем, испытывающих сильный антропогенный пресс, является важной задачей нашего времени. Для ее решения необходимо понимать зональный статус территории, прохождение подзональных границ, общие и специфические черты ее растительного покрова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Агаханянц О.Е.* 1986. Ботаническая география СССР. Минск: Высшая школа. 176 с.
Атлас Астраханской области. 1997. М.: Федеральная служба геодезии и картографии России. 48 с.

Атлас Казахской ССР. 1982. М.: ГУГК. Природные условия и ресурсы. Т. 1. 82 с.
Атлас Калмыцкой АССР. 1974. М.: ГУГК. 32 с.
*Бананова В.А., Лазарева В.Г.* 1997. Ботанико-географическое районирование европейской полупустыни // Степи Евразии: Сохранение природного разнообразия и мониторинг состояния экосистем: Материалы международного симпозиума. Оренбург. С. 56.
*Барков А.С.* 1964. Словарь справочник по физической географии. М.: Государственное учебно-педагогическое издательство. 308 с.
*Берг Л.С.* 1913. Опыт разделения Сибири и Туркестана на ландшафтные и морфологические области // Сборник в честь 70-летия Д.Н. Анучина. М. С. 37.
*Берг Л.С.* 1955. Зона полупустынь // Природа СССР. М.: Государственное издательство географической литературы. С. 142-159.
Ботанико-фармакогностический словарь. 1990 / Ред. К.Ф. Блинова, Г.П. Яковлев. М.: Высшая школа. 272 с.
Ботаническая география Казахстана и Средней Азии (в пределах пустынной области). 2003. Botanical Geography Kazakhstan and Middle Asia. (русск., англ.) / Ред. Е.И. Рачковская, В.Н. Храмцов, Е.А. Волкова. СПб. 424 с.
*Быков Б.А.* 1955. Растительность и кормовые ресурсы Западного Казахстана. Алма-Ата: Наука Казахской ССР. 109 с.
*Быков Б.А.* 1967. Геоботаническая терминология. Алма-Ата: Наука Казахской ССР. 168 с.
*Вальтер Г.* 1975. Аридные области Центральной Азии // Растительность Земного шара. Т. 3. М.: Прогресс. С. 187-293.
*Высоцкий Г.Н.* 1915. Ергеня: Культурно-фитологический очерк // Труды Бюро по прикладной ботанике. Т. 8. № 10-11. С. 1113-1436.
*Гаврилова И.П., Герасимова М.И., Богданова М.Д., Лебедев Н.П.* 1995. Почвенная карта Российской Федерации и сопредельных государств (в серии карт для высшей школы). М 1:4000000. М.: Федеральная служба геодезии и картографии России. 1 л.
География и экология Волгоградской области. 2005. Учебное пособие для средней школы / Ред. В.А. Брылев. Волгоград. 264 с.
Геоботаническая карта СССР. 1954. М 1:4000000. М. 1 л.
*Димо Н.А., Келлер Б.А.* 1907. В области полупустыни. Почвенные и ботанические исследования на юге Царицынского уезда Саратовской губернии. Саратов: Издательство Саратовского губернского земства. 532 с.
*Зонн С.В.* 1995. Опустынивание природных ресурсов аграрного производства за последние 70 лет и меры борьбы с ними // Биота и природная среда Калмыкии. М.-Элиста. С. 19-52.
Зоны и типы поясности растительности России и сопредельных территорий: Карта для высших учебных заведений. М 1:8000000. 1999а. М.: Экор. 2 л.
Зоны и типы поясности растительности России и сопредельных территорий: Пояснительный текст и легенда к карте масштаба 1:8000000. 1999б. М.: Изд-во МГУ. 64 с.
*Иванов В.В.* 1953. Физико-географический очерк Западного Казахстана // Географический сборник АН СССР. Т. 2. С. 5-51.
*Иванов В.В.* 1958. Степи Западного Казахстана в связи с динамикой их покрова. М.-Л.: Издательство АН СССР. 288 с.
*Карамышева З.В.* 1993. Ботаническая география степей Евразии // Степи Евразии: проблемы сохранения и восстановления. Сборник статей памяти Е.М. Лавренко. СПб.-М. С. 6-29.
*Карамышева З.В., Рачковская Е.И.* 1973. Ботаническая география степной части Центрального Казахстана. Л.: Наука. 280 с.
Карта почвенно-экологического районирования Восточно-Европейской равнины. М 1:250000. 1997 / Ред. Н.Г. Добровольсктй, И.С. Урусевская. М.: Федеральная служба геодезии и картографии России. 1 л.
Карта растительности степной части Казахского мелкосопочника. 1975. М.: ГУГК. 1 л.
Карта геоботанического районирования СССР. 1947 // Геоботаническое районирование СССР. М.-Л.: Издательство АН СССР. Приложение. 1 л.
Карта растительности Европейской части СССР. М 1:2500000. 1979. М.: ГУГК. 4 л.
Карта растительности СССР для высших учебных заведений. М 1:4000000. 1990. М.: ГУГК. 4 л.
Карта восстановленной растительности Центральной и Восточной Европы. М 1:2500000. 1996. СПб.-Винница: ГУГК. 6 л.
Карта растительности Казахстана и Средней Азии (в пределах пустынной области). М 1:2500000. 1995. М. 3 л.
*Келлер Б.А.* 1923. Растительный мир русских степей, полупустынь и пустынь // Очерки экологические и фитосоциологические. Воронеж. Вып. 1. 183 с.
*Келлер Б.А.* 1938. Главные типы растительности СССР // Растительность СССР. М.-Л. Т. 1. С. 133-181.
Классификация и диагностика почв СССР. 1977 / Ред. В.В. Егоров, В.М. Фридланд, Е.Н. Иванова, Н.Н. Розов. М.: Колос. 221 с.

*Козо-Полянский Б.М.* 1931. В стране живых ископаемых: Очерк из истории горных боров на степной равнине Центрально-Черноземной области. М. 185 с.

Климат Казахстана. 1959. Л. 368 с.

Краткая географическая энциклопедия. 1962 / Ред. А.А. Григорьев. М.: Советская энциклопедия. 580 с.

*Культиасов И.М.* 1981. Растительность аридных областей СССР. Ч. 2. Растительность степей. М.: Издательство Московского университета. 84 с.

*Лавренко Е.М.* 1940. Степи СССР // Растительность СССР. М.-Л.: Издательство АН СССР. Т. 2. С. 1-265.

*Лавренко Е.М.* 1947. Евразиатская степная область // Геоботаническое районирование СССР. М.-Л.: Издательство АН СССР. С. 95-110.

*Лавренко Е.М.* 1954. Степи Евразиатской степной области, их география, динамика и история // Вопросы ботаники. М.-Л.: Издательство АН СССР. Вып. 1. С. 155-191.

*Лавренко Е.М.* 1956. Степи и сельскохозяйственные земли на месте степей // Растительный покров СССР: Пояснительный текст к «Геоботанической карте СССР» масштаба 1:4000000. М.-Л.: Издательство АН СССР. Т. 2. С. 595-730.

*Лавренко Е.М.* 1970. Провинциальное разделение Причерноморско-Казахстанской подобласти степной области Евразии // Ботанический журнал. Т. 55. № 12. С. 609-625.

*Лавренко Е.М.* 1980. Степи // Растительность Европейской части СССР. Л.: Наука. С. 203-272.

*Лавренко Е.М., Карамышева З.В., Никулина Р.И.* 1991. Степи Евразии // Биологические ресурсы и природные условия Монгольской Народной Республики. Т. XXXV. Л.: Наука. 145 с.

*Левина Ф.Я.* 1964. Растительность полупустыни Северного Прикаспия и ее кормовое значение. М.-Л.: Издательство АН СССР. 336 с.

*Меньчугов А.Е.* 1966. В мире ориентиров. М.: Мысль. 288 с.

*Мильков Ф.Н.* 1977. Природные зоны СССР. М.: Мысль. 296 с.

*Никитин С.А.* 1954. Растительность восточной части Прикаспийской низменности // Пустыни СССР и их освоение. М.-Л.: Издательство АН СССР. Т. 2. С. 217-264.

*Николаев В.А., Копыл И.В., Линдеман Г.В.* 1997. Ландшафтный экотон в Прикаспийской полупустыне // Вестник Московского университета. Серия 5, География. № 2. С. 34-39.

*Павлов Н.В.* 1948. Ботаническая география СССР. Алма-Ата. 712 с.

*Петров К.М.* 2001. Биогеография с основами охраны биосферы. СПб.: Издательство СПбГУ. 376 с.

*Прозоровский А.В.* 1940. Полупустыни и пустыни СССР // Растительность СССР. М.-Л.: Издательство АН СССР. Т. 2. С. 207-480.

*Рачковская Е.И.* 2004. Карта растительности. М 1:2500000 // Экологический атлас Костанайской области. Костанай: Костанайполиграфия. С. 36-38.

*Реймерс Н.Ф.* 1991. Популярный биологический словарь. М.: Наука. 540 с.

*Рубцов Н.И.* 1952. Растительный покров Казахстана // Очерки по физической географии Казахстана. Алма-Ата: АН КазССР. С. 385-452.

*Сафронова И.Н.* 1971. Основные закономерности распределения и геоботаническое районирование степей восточной части Актюбинской области // Ботанический журнал. Т. 56. № 1. С. 31-47.

*Сафронова И.Н.* 1975. О зональном разделении растительного покрова междуречья Волга-Урал // Ботанический журнал. Т. 60. № 6. С. 823-831.

*Сафронова И.Н.* 1979. Среднемасштабная карта растительности степной части Подуральского плато // Геоботаническое картографирование. Л. С. 21-32.

*Сафронова И.Н.* 2002. Фитоэкологическое картографирование Северного Прикаспия // Геоботаническое картографирование 2001-2002. СПб. С. 44-65.

*Сафронова И.Н.* 2005. Об опустыненных степях Нижнего Поволжья // Поволжский экологический журнал. № 3. С. 261-267.

*Сафронова И.Н.* 2006. Можно ли подзону опустыненных степей называть экотоном // Аридные экосистемы. Т. 12. № 30-31. С. 20-27.

*Сафронова И.Н.* 2010. О подзональной структуре растительного покрова степной зоны в Европейской части России // Ботанический журнал. Т. 95. № 8. С. 1126-1133.

*Сафронова И.Н., Юрковская Т.К.* 2015. Зональные закономерности растительного покрова равнин Европейской России и их отображение на карте // Ботанический журнал. Т. 100. № 11. С. 1121-1141.

*Трофимов И.А.* 1995. Природные кормовые угодья Черных земель // Биота и природная среда Калмыкии. М.-Элиста. С. 53-83.

*Успанов У.У.* 1947. К эволюции взглядов на бурые почвы // Вестник АН КазССР. № 5. С. 31-34.

*Успанов У.У., Фаизов К.Ш.* 1971. О бурых и серобурых почвах пустынной зоны Казахстана // Известия АН КазССР. Серия биологическая. № 2. С. 1-15.

*Фукарек Ф., Мюллер Г., Шустер Р.* 1982. Растительный мир Земли. В 2-х томах. Т. 1. 136 с.

Юго-Восток Европейской части СССР. 1971. М. 459 с.

Энциклопедический словарь географических терминов. 1968 / Ред. С. В. Калесник. М.: Советская энциклопедия. 440 с.

*Cherepanov S.K.* 2007. Vascular plants of Russia and adjacent states (the former USSR). Cambrige University Press, Cambridge. 517 p.

Karte der natürlichen Vegetation Europas. Maßstab 1:2500000. 2000a. Karten zusammengestellt und bearbeitet von Bohn U., Gollub G., Hettwer C. Bundesamt für Naturschutz. Bonn-Bad-Godesberg. 9 p.

Karte der natürlichen Vegetation Europas. Maßstab 1:2500000. 2000б. Legende zusammengestellt und bearbeitet von Bohn U., Gollub G., Hettwer C. Bundesamt für Naturschutz. Bonn-Bad-Godesberg. 153 p.

*Ozenda P.* 1994. Vegetation du Continent Europeen. Paris: Delachaux et Niestle S.A. Lausanne, Switzerland. 271 p.

*АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2019, том 25, № 1 (78), с. 10-19*

## СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

*УДК 332.334.571.52*

# ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В РЕСПУБЛИКЕ БУРЯТИЯ

**© 2019 г. Т.А. Болданов, Г.Д. Мухин**

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет*
*Россия, 119992, г. Москва, Ленинские горы, ГСП-2. E-mail: tamir2002@mail.ru, gd_mukhin@rambler.ru*

Поступила в редакцию 17.11.2017. После доработки 11.03.2018. Принята к публикации 11.04.2018.

На основе анализа климатических показателей по метеостанциям республики Бурятия за период с 1970 по 2015 годы выявлены температурные тренды и динамика изменения количества выпадающих осадков в разных районах республики. Констатируется общее потепление климата, снижение количества выпадающих осадков, возрастание годовых амплитуд климатических показателей, выделяются районы с равной динамикой соотношения среднегодовых температур и количества осадков. Констатируется стихийная адаптация площади и структуры посевов, численности и структуры выпасаемого скота к меняющимся условиям. Формулируются основные направления планомерной адаптации сельскохозяйственного природопользования в связи с изменениями климата: оптимизация использования обрабатываемых земель, возможности орошения, развитие традиционного скотоводства на базе малых форм хозяйствования с наиболее адаптивной численностью выпасаемого скота

*Ключевые слова:* глобальные климатические изменения, региональные климатические тренды, динамика среднегодовых температур и количества осадков, экологические риски, климатическая адаптация.

**DOI: 10.24411/1993-3916-2019-00040**

Сельское хозяйство в республике Бурятия исторически развивается в условиях сурового резко континентального климата с холодными малоснежными зимами, жарким летом, засушливым в первой половине и с ливневыми кратковременными осадками во второй при общем дефиците осадков. Характерными являются весенне-летние и летне-осенние заморозки. Кратко климат республики можно определить как криоаридный, его характерной чертой являются значительные колебания показателей, что связано с ландшафтной дифференциацией территории в зависимости от высоты местности, простирания горных систем, близости оз. Байкал и от горно-котловинного рельефа территории в целом. Продолжительность солнечного сияния весьма велика и достигает 2400-2700 часов в год, уменьшаясь в Прибайкалье до 2100-2400 часов, из них 60-65% приходится на теплое время года с апреля по сентябрь (Система ведения …, 1985). Годовая амплитуда абсолютных температур колеблется от 85 до 90°С, а среднемесячных – от 45 до 60°С; среднесуточные амплитуды в мае-июне достигают 14-16°С.

Разброс агроклиматических показателей, составленных по данным метеостанций по ландшафтным зонам за начало и середину XX века, иллюстрирует таблица 1.

Среднегодовая температура воздуха повсеместно отрицательная и понижается с юга (-0.5° в Усть-Кяхте) на север (-6.5° в Багдарине). Безморозный период изменяется от 35 дней в Орлике до 116 в Новоселенгинске. Среднегодовое количество осадков на основной части территории республики небольшое. В долинах и межгорных понижениях оно колеблется от 150 до 350 мм, в горах увеличивается до 500-700 мм и более. За май-сентябрь выпадает 60-65% годовой суммы осадков на восточном побережье оз. Байкал и 80-90% на остальной территории. Чаще всего осадки выпадают в летний период с максимумом в июле-августе (Батудаев и др., 2010).

На таком агроклиматическом фоне земледелие всегда было рискованным с ограниченным набором возделываемых культур. Преимущественно бедные малогумусные и маломощные почвы нуждались в искусственном повышении плодородия за счет удобрений и орошения. Приоритетной отраслью сельского хозяйства исторически являлось пастбищное (номадное) животноводство.

**Таблица 1.** Климатические показатели по природным зонам Бурятии.

| Метеостанция | Среднегодовая температура, °С | Сумма температур выше 10°С | Безморозный период дней | Осадки, мм | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Среднегодовая сумма | В т.ч. за | |
| | | | | | IV-VI мес. | VII-IX мес. |
| Сухая степь | | | | | | |
| Усть-кяхта | -0.5 | 1910 | 109 | 247 | 63 | 169 |
| Новоселенгинск | -1.5 | 1982 | 116 | 225 | 51 | 158 |
| Хоринск | -2.5 | 1724 | 95 | 238 | 46 | 161 |
| Степь | | | | | | |
| Бичура | -2.5 | 1737 | 95 | 320 | 83 | 109 |
| Мухоршибирь | -2.4 | 1707 | 96 | 300 | 76 | 200 |
| Лесостепь | | | | | | |
| Кабанск | -1.0 | 1551 | 113 | 412 | 103 | 213 |
| Кырен | -2.6 | 1410 | 98 | 416 | 128 | 234 |
| Горная лесостепь | | | | | | |
| Закаменск | -2.5 | 1300 | 79 | 360 | 86 | 224 |
| Сосново-Озерск | -4.1 | 1330 | 76 | 317 | 72 | 201 |
| Горная тайга | | | | | | |
| Муя | -6.4 | 1430 | 85 | 322 | 99 | 185 |
| Багдарин | -6.5 | 1192 | 54 | 337 | 75 | 238 |
| Орлик | -6.5 | 860 | 35 | 305 | 93 | 188 |

## Материалы и методы

Анализ климатических изменений проведен на основе обработки метеорологических показателей по 29-ти метеостанциям, расположенным на территории Бурятии. Использованы базы данных National Oceanic and Atmospheric Administration (База …, 2016), Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации ФГБУ ВННИГМИ-МЦОД (Специализированные массивы …, 2016) за период 1970-2015 гг. По суточным значениям метеорологических показателей рассчитывались среднемесячные, среднегодовые, среднелетние (июнь-сентябрь) и среднезимние (декабрь-февраль) значения температуры воздуха и количества осадков. По всем метеостанциям построены графики линейных трендов изменения показателей с соответствующими уравнениями регрессии. На основе их сравнения выделены 6 ареалов с характерными особенностями климатических изменений. Сопряженный анализ климатических изменений с динамикой посевных площадей зерновых культур и поголовья выпасаемого скота проведен для выявления направлений адаптации животноводства и растениеводства к климатическим изменениям.

## Результаты и обсуждения

С 70-х годов XX века по настоящее время в республике отмечается период потепления климата (Мухин, 2013), который отчетливо проявляется также в других регионах Южной Сибири, например, Тыве (Куулар, 2015; Mukhin, Boldanov, 2016). В республике Бурятия динамика климатических показателей также демонстрирует устойчивый рост среднегодовых температур и некоторое снижение среднегодового количества осадков. В отличие от равнинных районов в горных районах Южной Сибири динамика климатических показателей отличается выраженной территориальной дифференциацией из-за горно-котловинного рельефа и влияния оз. Байкал.

Наметившийся в 70-х годах устойчивый теплый тренд дифференцированно, но отчетливо проявился по доступным данным наблюдений 29 метеостанций и метеопостов республики (рис. 1).

Проведенный анализ динамики климатических показателей свидетельствует о росте среднегодовых температур более чем на 1°С за 45 лет по большинству станции, а по 2 станциям наблюдался рост более чем 2°С за 45 лет (Хоринск, Таксимо). Наибольший линейный прирост среднегодовой температуры наблюдается в Хоринском районе (ст. Хоринск) и равен 2.56°С.

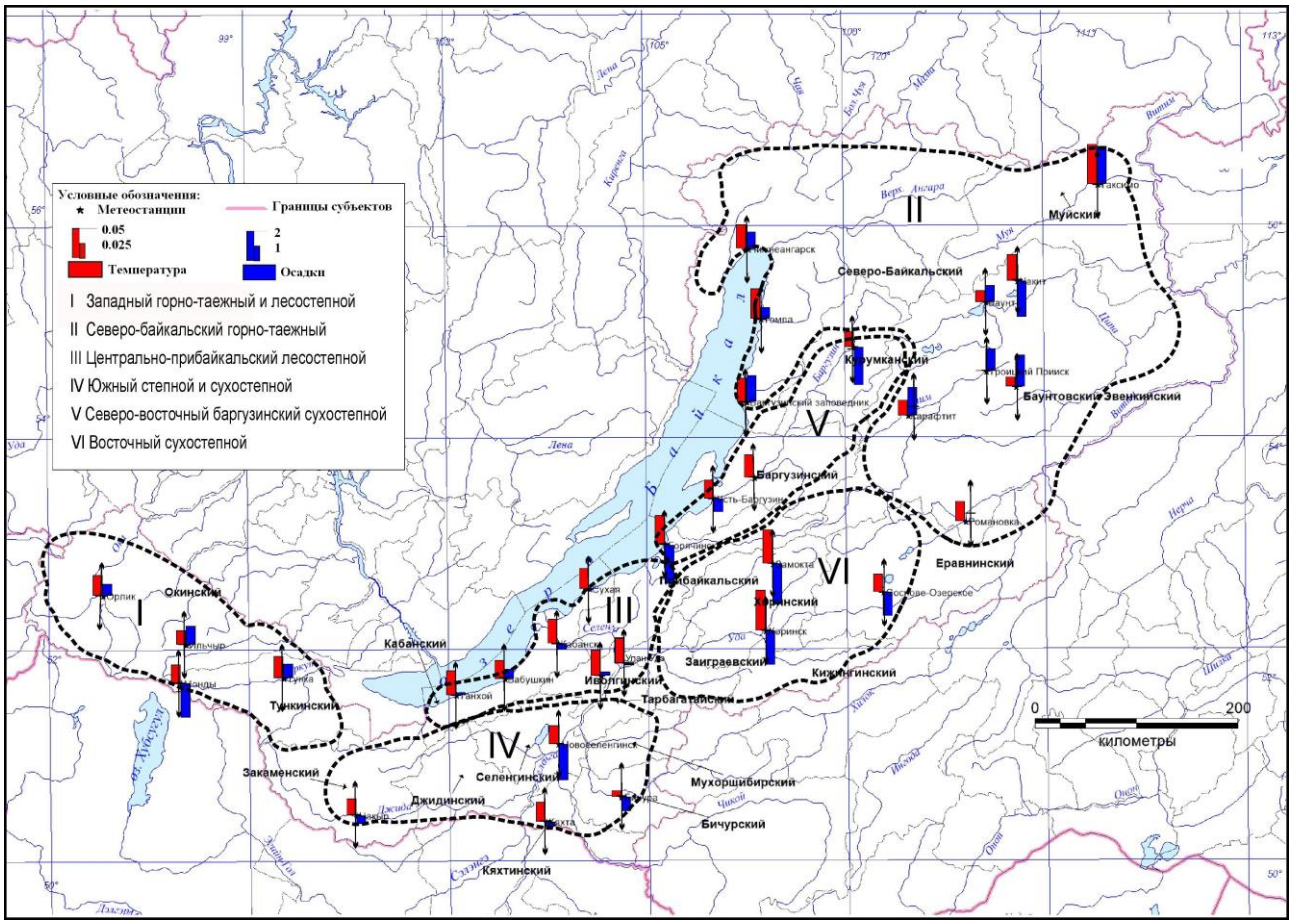



**Рис. 1.** Динамика среднегодовых температур и среднегодового количества осадков по метеостанциям республики Бурятия.

По большинству станций также отмечается снижение количества осадков или их сохранение на неизменном уровне. Максимальное снижение количества осадков наблюдается в южных районах, например, в Хоринском оно составило 96.5 мм или -2.1 мм/год. В северных таежных районах (Таксимо), напротив, отмечается небольшой рост на 70.3 мм или 1.6 мм/год. На рисунках 2 и 3 показаны линейные тренды температур и количества осадков по двум характерным станциям (Усть-Баргузин – северный сухостепной район, Кяхта – южный сухостепной район).

Необходимо отметить, что по сравнению с европейской частью России, где рост среднегодовых температур складывается в основном из роста зимних температур, в байкальском регионе наблюдается повышение как зимних, так и летних температур, что иллюстрирует тренд сезонных температур по станции Хоринск (рис. 4).

Анализ динамики сезонных температур выявил наибольший рост летних температур в степных и сухостепных районах, а также в северных таежных районах. Оз. Байкал оказывает смягчающее, сглаживающее влияние на динамику сезонных температур. В прибайкальских районах отмечается относительно небольшой прирост и зимних, и летних температур: 0.7°С или 0.015°С/год, 0.9°С или 0.02°С/год соответственно.

Другие закономерности выявлены в количестве выпадающих осадков. Здесь отмечается устойчивый рост в северных и горных районах (Муйский, Северо-Байкальский, Окинский) и

значительное снижение показателей в более освоенных степных, сухостепных, пригородных районах. Так, в Хоринском районе отмечается снижение количества летних осадков за исследуемый период на 33 мм при сохранении уровня зимних осадков.

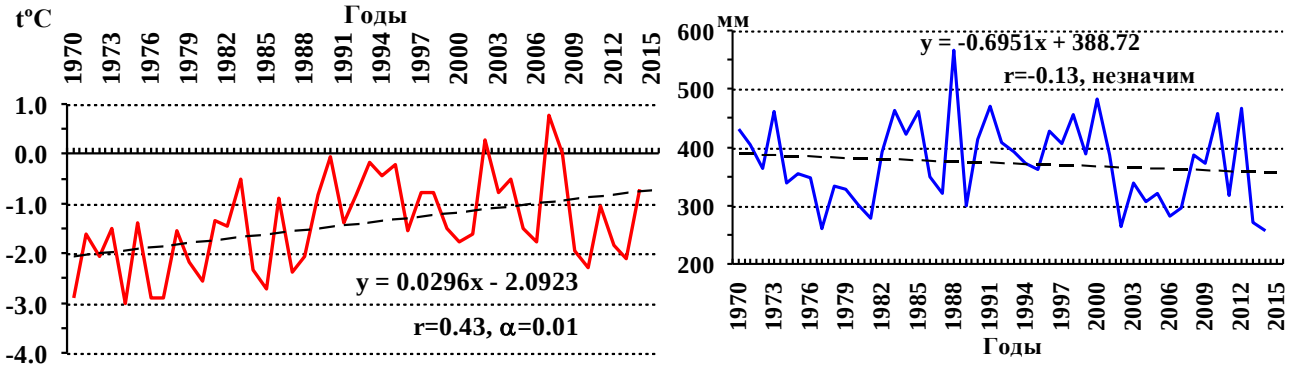



**Рис. 2.** Изменения среднегодовой температуры воздуха (t°C) и суммарных годовых осадков (мм) за многолетний период (1970-2014 гг.) по метеостанции Усть-Баргузин.

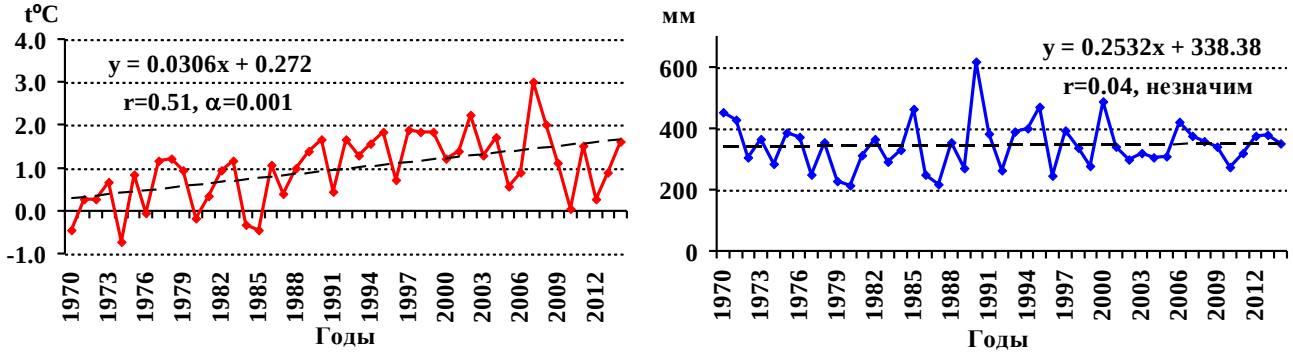



**Рис. 3.** Изменения среднегодовой температуры воздуха (t°C) и суммарных годовых осадков (мм) за многолетний период (1970-2014 гг.) по метеостанции Кяхта.

В целом по республике Бурятия выделяется зона с максимальным и устойчивым повышением температур воздуха и снижением количества осадков за исследуемый период. Данная зона включает все степные и сухостепные районы центральной и южной части республики и расположенные вдоль долины р. Селенга, по Восточному побережью оз. Байкал и в Баргузинской котловине.

В горно-таежных мерзлотных районах (Северо-Байкальский, Муйский, Баунтовский, Окинский) выделяется зона относительного прироста среднегодовых температур (0.5-0.9°C) и прироста среднегодового количества осадков на 50-70 мм.

В переходной лесостепной зоне (Тункинский, Закаменский районы, лесостепные части некоторых других районов) отмечается незначительный прирост среднегодовых температур (до 1°C) при незначительных повышениях или уменьшениях годового количества осадков.

По всем метеостанциям рассчитаны также среднегодовые температуры и среднегодовое количество осадков за период с 1970 по 2015 годы вместе с показателями их линейной динамики данных (табл. 2). Сопоставление среднегодовых температур из климатических и агроклиматических справочников по некоторым станциям, приведенным в таблице 1, с соответствующими значениями за исследуемый период показывает существенное превышение среднегодовых температур в период теплого тренда над среднемноголетними значениями.

Так, по сухостепным станциям Кяхта, Новоселенгинск и Хоринск среднегодовая температура выросла соответственно с -0.5 до 0.98°C, с -1.5 до -0.48°C и с -2.5 до -1.84°C. По степной станции Бичура температура выросла с -2.5 до -1.29°C. В лесостепном Кабанске температура выросла с -1.0 до

0.22°С. На метеостанциях горно-таежной зоны Багдарин и Орлик среднегодовая температура увеличилась с -6.5 до -4.88°С и с -6.5 до -3.62°С. По большинству метеостанций сухостепной и степной зоны среднегодовое количество осадков за рассматриваемый период уменьшилось на 20-40 мм по сравнению со среднемноголетними значениями. На метеостанциях горно-таежной зоны среднегодовое количество осадков возросло на 30-70 мм, например, на станции Багдарин с 337 до 388.1 мм (табл. 1, 2). Безусловно, изменились и среднесезонные значения температуры и осадков. За температурными изменениями и изменением условий увлажнения следуют и изменения таких агроклиматических показателей, как сумма температур выше 10°С, продолжительность безморозного периода и показателей увлажнения, влияющих на продуктивность пахотных земель и пастбищ.

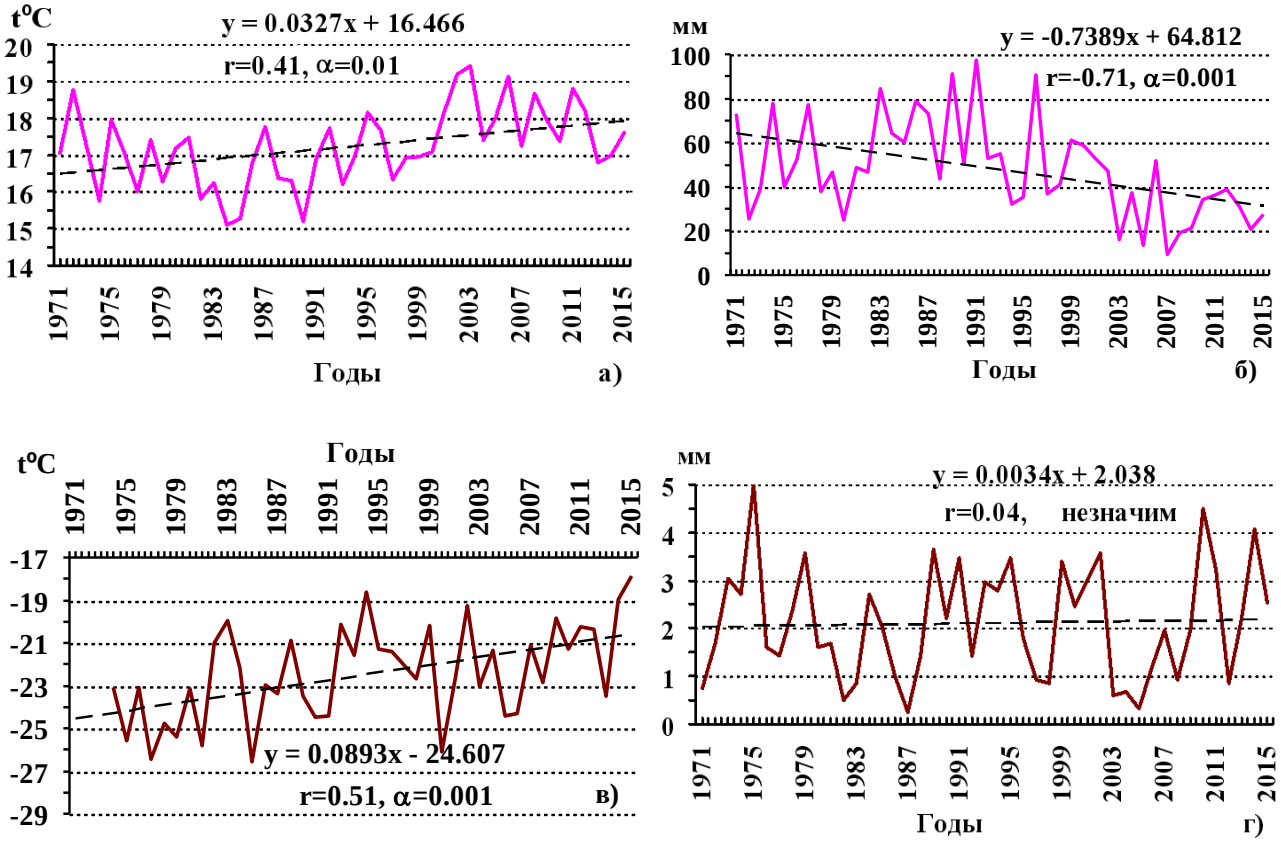



**Рис. 4.** Динамика многолетних (1971-2015 гг.) среднезимних (в, г) и среднелетних (а, б) температуры воздуха (а, в) и суммарных осадков (б, г) по метеостанции Хоринск.

Таким образом, проведенный анализ позволяет выделить несколько районов с определенными характерными особенностями динамики температуры и количества осадков (рис. 1):

I – западный горно-таежный и лесостепной район с трендами на рост температур и количества осадков как в летние, так и зимние месяцы;

II – северо-байкальский горно-таежный район с трендами значительного роста осадков и температур как в зимние, так и в летние месяцы и большой вариативностью показателей из-за локальных факторов;

III – центрально-прибайкальский лесостепной район со значительным ростом температур и незначительными изменениями в количестве осадков;

IV – южный степной и сухостепной район с относительно невысоким ростом температур и значительным снижением количества осадков;

V – северо-восточный баргузинский сухостепной район с положительными температурными трендом и существенным снижением осадков;

VI – восточный сухостепной со значительным ростом температур и значительным снижением количества осадков.

**Таблица 2.** Среднегодовые значения температур и количество осадков и их динамика по республике Бурятии за период с 1970 по 2015 гг.

| Районы | Станции | Температура, °С | | | Осадки, мм | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Средне-годовая | Изменение за год | Изменение за 45 лет | Средне-годовые | Изменение за год | Изменение за 45 лет |
| Баргузинский | Усть-баргузин | -1.41 | 0.03 | 1.18 | 372.7 | -0.6 | -25.02 |
| | Баргузинский заповедник | -2.93 | 0.04 | 1.46 | 430.4 | 1.1 | 49.48 |
| | Баргузин | -1.93 | 0.04 | 1.44 | 358.3 | 0.0 | 0.94 |
| Баунтовский | Романовка | -3.80 | 0.03 | 1.25 | 353.1 | 0.0 | -0.86 |
| | Баунт | – | – | – | 372.9 | 0.7 | 32.22 |
| | Карафтит | – | – | – | 393.8 | 1.2 | 54.25 |
| Эвенкийский | Троицкий прииск | -7.31 | 0.03 | 1.30 | 419.0 | 1.0 | 42.91 |
| | Багдарин | -4.88 | 0.01 | 0.58 | 388.1 | 1.3 | 57.89 |
| | Уакит | -6.50 | 0.04 | 1.68 | 349.9 | -1.5 | -67.6 |
| Бичурский | Бичура | | | | 300.4 | 0.0 | 0.00 |
| Закаменский | Чакыр | -1.69 | 0.03 | 1.05 | 405.1 | 0.0 | -1.62 |
| Иволгинский | Иволгинск | -0.10 | 0.04 | 1.59 | 236.3 | 0.2 | 7.78 |
| Кабанский | Бабушкин | 0.77 | 0.03 | 1.20 | 537.6 | 0.4 | 19.60 |
| | Сухая | -1.31 | | | 282.5 | 0.0 | 0.00 |
| Кяхтинский | Кяхта | 0.98 | 0.03 | 1.22 | 344.2 | 0.2 | 9.11 |
| Муйский | Таксимо | -5.08 | 0.06 | 2.49 | 396.3 | 1.6 | 70.31 |
| Окинский | Ильчир | -8.09 | | | 332.2 | 0.0 | 0.0 |
| | Орлик | -3.62 | 0.03 | 1.31 | 331.6 | 0.5 | 21.46 |
| Прибайкальский | Горячинск | -0.46 | 0.05 | 1.85 | 351.0 | -1.6 | -72.44 |
| Северо-Байкальский | Нижнеангарск | -2.07 | 0.04 | 1.50 | 352.8 | 0.7 | 31.72 |
| Селенгинский | Новоселенгинск | -0.48 | 0.03 | 1.21 | 162.2 | -2.1 | -95.85 |
| Тункинский | Монды | -1.60 | 0.03 | 1.18 | 253.8 | -1.4 | -64.8 |
| | Тунка | -1.26 | 0.04 | 1.40 | 377.2 | 0.6 | 27.29 |
| Хоринский | Хоринск | -1.84 | 0.06 | 2.56 | 202.6 | -2.1 | -96.52 |
| | Замакта | – | – | – | 480.5 | 2.7 | 121.52 |

Анализ динамики температур и количества выпадающих осадков по выделенным районам показывает, что повышение среднегодовых температур наблюдается на всей территории республики. Особенно оно выражено на сельскохозяйственно освоенной части (III-VI районы). В этих районах оно сочетается с отрицательным среднегодового количества осадков или его полным отсутствием. Максимальные изменения климата наблюдаются в значительно более засушливом северо-восточном (баргузинском) и восточном сухостепном районах, где значительное потепление сочетается с существенным снижением количества осадков. В центрально-прибайкальском лесостепном и южном степном и сухостепном районах выраженное потепление сочетается с отсутствием тренда суммарных осадков или отрицательной его направленностью. Данные климатические тенденции, безусловно, необходимо учитывать при анализе сельскохозяйственного природопользования.

Другим важным вопросом является водообеспеченность районов поверхностными водами. Основная часть республики располагается в бассейне оз. Байкал. А, согласно федеральному закону «Об охране озера Байкал» (1999), на данной территории установлен особый режим хозяйственной и иной деятельности, а сама акватория озера и прилегающие земли особо охраняемых природных территорий включены в ее ядро – центральную экологическую зону с максимально жестким режимом природопользования.

Согласно Государственному докладу (2016), в республике Бурятия насчитывается более 30 тыс. рек общей протяженностью приблизительно 152 тыс. км. Однако из общего количества рек лишь 65 относятся к категории больших и средних. Таким образом, более 99% рек республики составляют малые реки длиной менее 10 км.

В степных и лесостепных районах условия стока, характеризующиеся более сглаженным рельефом и большим распространением песчаных и супесчаных почв, значительно затрудняют сельскохозяйственную деятельность из-за больших потерей воды на инфильтрацию.

Вслед за значительными изменениями климатических показателей произошла стихийная адаптация аграрного землепользования к меняющимся условиям. Непосредственным толчком сжатия аграрного пространства стали экономические факторы в связи с рыночными преобразованиями начала 90-х годов прошлого века. Масштабы выбытия земель из оборота были максимальными в районах с худшими аграрно-экологическими условиями (Болданов, Мухин, 2016). Так, в сухостепных и степных районах республики площадь сельскохозяйственных угодий сократилась в Кижингинском районе – на 1.3 тыс. га, в Селенгинском – на 4.8 тыс. га, в Курумканском – на 3.9 тыс. га. Посевные площади зерновых с 1990 по 2012 годы сократились в южных районах: Джидинский – 43.7 тыс. га или 53%, Кяхтинский – 47 тыс. га или 81%, Бичурский – 51.8 тыс. га или 70%, Мухоршибирский – 62 тыс. га или 72.5% (Статистический …, 2013). Таким образом, в тех районах, где ранее обрабатываемые земли занимали большие площади, а плодородие почв и агроклиматические условия были благоприятными для земледелия, сельское хозяйство в связи с изменениями климата было вынуждено адаптироваться к новым реалиям как качественно, так и количественно. Существенно сократились посевные площади зерновых культур: в Еравненском, Заиграевском, Иволгинском, Кяхтинском и Хоринском районах они сократились от 75% до 95%. Часть возделываемых земель была переведена под пастбища. Увеличилось количество земель, переведенных в статус залежей. Увеличение среднегодовой и летних температур и уменьшение осадков сказалось на урожайности сельскохозяйственных культур и сильно повлияло на масштабы вывода обрабатываемых земель из оборота, начиная с 90-х годов этого века (Болданов, Мухин, 2015).

На данном этапе проведенных исследований можно предметно констатировать возникающие проблемы и риски природопользования связанные с климатическими изменениями, особенно в рамках сельскохозяйственного землепользования. Так, с потеплением климата связано увеличение испаряемости и снижение поверхностного стока, что наряду с увеличением водозабора из ангарского каскада ГЭС является причиной снижения уровня озера Байкал. Снижение стока р. Селенги ограничивает также возможности для орошаемого земледелия. Рост летних температур, сопровождающийся аномально жаркими и сухими летними сезонами, способствует нарастанию пожароопасности в регионе (Антропов и др., 2014)

Положительным следствием потепления климата является повышение комфортности рекреационных условий: увеличение продолжительности летнего отдыха, расширение возможностей зимних видов рекреации.

Корреляционный анализ изменения климатических показателей и урожайности свидетельствует о замедлении или даже уменьшении роста, в частности, в Иволгинском районе и Баргузинской котловине, несмотря на то, что часть земель заброшена, а культивируются только лучшие (рис. 5).

С другой стороны, потепление климата вызвало значительные изменения в структуре посевных площадей. Возросла доля интенсивных, мало зависящих от климата культур, таких как картофель и прочие овощи, появились фермерские хозяйства, где возделывается такая южная засухоустойчивая культура, как арбуз, что ранее казалось невозможным.

Назрела необходимость направить в планомерное русло процесс стихийной адаптации земледелия и скотоводства к агроклиматическим реалиям. В первую очередь необходима оптимизация площади и структуры посевов по районам республики в зависимости от меняющихся

агроклиматических условий. В частности, уменьшение на богарных землях посевов пшеницы в пользу более засухоустойчивых ярицы, ячменя и нетребовательных кормовых культур. Необходимо также восстановление наиболее перспективных из старых оросительных систем; если в 1990 году орошалось 176.4 тыс. га, то в 2015 году их осталось 149.3 тыс. га, из которых 112.6 тыс. га (75%) – в удовлетворительном состоянии, 17.9 тыс. га (12%) – в неудовлетворительном, а полив в настоящее время производится на площади в 70 тыс. га (Государственный …, 2016). В связи с уменьшением стока р. Селенги и ее крупнейших притоков существенное увеличение площади орошаемых земель из поверхностных источников представляется проблемным. Целесообразно восстановить оросительные системы, находящиеся в удовлетворительном состоянии. С учетом природно-экологических условий и экономических возможностей эффективными могут быть оросительные системы на площади 100-120 тыс. га. В тоже время необходимо увеличить долю менее водоемких способов орошения (дождевое и капельное орошение) при более широком использовании подземных источников. В перспективе неизбежно сокращение площади обрабатываемых земель в наиболее проблемных районах и увеличение площади естественных кормовых угодий для возрождения традиционного скотоводства, разведения местных адаптированных пород крупного и мелкого рогатого скота, коневодства. Особенно это касается сухостепных районов: Кяхтинский, Джидинский, Селенгинский.

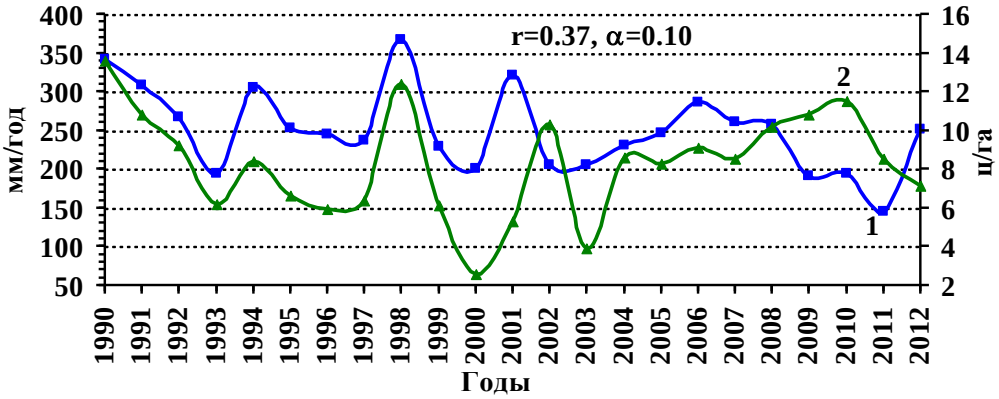



**Рис. 5.** Корреляция между количеством осадков (1) и урожайностью (2) в Иволгинском районе.

Современная структура выпасаемого стада в значительной мере отреагировала на изменяющие климатические условия (табл. 3) сокращением поголовья мелкого рогатого скота. С учетом изменения климата и снижения продуктивности пастбищ уменьшение доли мелкого рогатого скота, интенсивно стравливающего растительную массу, представляется перспективным вариантом адаптации сельскохозяйственного землепользования. Крупный рогатый скот может проходить большие расстояния и равномерно оказывать воздействие на естественные кормовые угодья. Целесообразно в этой связи увеличение доли скота мясного направления, менее требовательного к сочным кормам. В этой связи показателен успешный опыт масштабного увеличения стада мясного скота в сухостепной зоне республики Калмыкия.

**Таблица 3.** Динамика поголовья скота Республики Бурятия во всех категориях хозяйств в 1990-2014 гг. (тыс. гол) установленная на основании данных статистических сборников (Регионы …, 2015; Статистический …, 2013).

| Поголовье | 1990 год | 2014 год | 2014 к 1990+/-, тыс. гол | 2014 к 1990 +/-, % |
|---|---|---|---|---|
| Крупный рогатый скот | 556.8 | 377.4 | 179.4 | -32.2 |
| В т.ч. коров | 179.9 | 156.2 | 23.7 | -13.2 |
| Свиней | 184.2 | 132.1 | 52.1 | -28.3 |
| Овец и коз | 1383.3 | 278.7 | 1104.6 | -79.9 |
| Лошадей | 75.7 | 71.9 | 3.8 | -5.0 |

Наиболее перспективной организационно-хозяйственной формой ведения традиционного скотоводства в складывающихся условиях являются крестьянские фермерские хозяйства. Небольшие по количеству выпасаемого скота, мобильные стада с гибкой структурой и не требующие дорогостоящей инфраструктуры, эти хозяйства лучше адаптируются к имеющимся пастбищным ресурсам и полнее используют продуктивность травостоев.

Климатические изменения не являются препятствием, а скорее, должны стимулировать развитие органического сельского хозяйства, особенно в прибайкальских рекреационных районах. Аграрная рекреация в таких местах и в районах развитого традиционного скотоводства может стать существенным фактором развития сельской местности в условиях изменения климата.

## Выводы

Климатические изменения в республике Бурятия за последние 45 лет характеризуются устойчивым трендом к потеплению, что выражается в росте среднегодовых температур на 1-2°С при одновременном повышении и летних, и зимних температур на основной территории республики. Повышение температур происходит на фоне уменьшения или сохранения уровня общего количества осадков.

Изменение показателей среднегодовых среднесезонных температур и количества осадков существенно колеблется по районам. Наиболее устойчивое потепление отмечается в центральных и сухостепных и степных районах вдоль долины р. Селенга и в Баргузинской котловине.

Риски природопользования, связанные с потеплением климата, проявляются в повышении пожарооопасности региона, что выражается, прежде всего, в росте площадей и продолжительности весенних и летних пожаров. Результатом потепления климата является понижение естественного уровня оз. Байкал за счет снижения поверхностного стока в бассейне и расхода р. Селенга.

Повышение температуры на фоне дефицита выпадающих осадков может способствовать дальнейшей аридизации климата в республике, приводя к снижению продуктивности традиционного зернового хозяйства и выведению из оборота значительных площадей обрабатываемых земель. В связи с этим необходима адаптация сельскохозяйственного производства к климатическим изменениям с приоритетным развитием традиционного скотоводства, органического сельского хозяйства и т.д.

Эколого-экономическая адаптация природопользования к климатическим изменениям должна стать важнейшим направлением стратегии устойчивого развития республики Бурятия.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Антропов В.Ф., Середкин А.Д., Щепин А.А.* 2014. Лесное хозяйство Бурятии. Улан-Удэ: Экос. 183 с.

*Батудаев А.П., Бохиев В.Б., Цыбиков Б.Б.* 2010. Земледелие Бурятии: учебное пособие. Улан-Удэ: Издательство БГСХА им. В.Р. Филиппова. 496 с.

*Болданов Т.А., Мухин Г.Д.* 2015. Эколого-экономическая оценка трансформации сельскохозяйственного землепользования в республике Бурятия (1990-2013 гг.) // Проблемы региональной экологии. № 3. С. 79-84.

*Болданов Т.А., Мухин Г.Д.* 2016. Климатические изменения в Республике Бурятия в конце XX – начале XXI века и экологические риски землепользования //Проблемы региональной экологии. № 6. С. 94-100.

База метеорологических данных Национального центра информации по окружающей среде США 2016. National Centers for Environmental Information (NOOA). National Oceanic and Atmospheric Administration [Электронный ресурс http://gis.ncdc.noaa.gov (дата обращения 15.12.2016)].

Государственный (национальный) доклад «О состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2015 году». 2016. М.: Росреестр. 206 с.

*Куулар Х.Б.* 2015. Особенности климата республики Тыва во второй половине XX века и в XXI веке // Метеорология и климатология. № 1. С. 51-57.

*Мухин Г.Д.* 2012. Эколого-Экономическая оценка трансформации сельскохозяйственных земель европейской территории России в 1990-2009 гг. // Вестник Московского университета. Серия 5, география. № 5. С. 19-27.

*Мухин Г.Д.* 2013. Климатические изменения и сельскохозяйственное землепользование: проблемы и перспективы // Рациональное природопользование: традиции и инновации. М.: Издательство МГУ. С. 80-83.

Регионы России. Социально-экономические показатели. 2015. М.: Росстат. 1266 с.

Система ведения сельского хозяйства Бурятской АССР. Рекомендации. 1985. Новосибирск: СО ВАСХНИЛ. 191 с.

Статистический ежегодник. 2013. Улан-Удэ: Бурятстат. 514 с.

Специализированные массивы метеорологических данных ФГУП «ВНИИГМИ-МЦД» 2016. [Электронный ресурс http://meteo.ru/data (дата обращения 15.12.2016)]

Федеральный закон от 1 мая 1999 года № 94-ФЗ «Об охране озера Байкал». 1999 [Электронный ресурс http://base.garant.ru/2157025 (дата обращения 10.01.2017)].

*Mukhin G.D., Boldanov T.A.* 2016. Problems and Perspectives of Land Use Management in the European Russia in Connection with Climate Changes // 33rd International Geographical Congress. 1715 p.

*АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2019, том 25, № 1 (78), с. 20-31*

**СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

*УДК 630.111:630.181*

# ФЕНОСПЕКТР ОЛЬХИ ЧЕРНОЙ (*ALNUS GLUTINOSA* GAERTN.) В ЭКОТОПАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ СТЕПНОЙ ЗОНЫ ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ

**© 2019 г. Т.А. Турчина**

*Южно-европейская научно-исследовательская лесная опытная станция*
*Россия, 346270, Ростовская обл., ст. Вешенская, ул. Сосновая, д. 59в. E-mail: tatturchina@mail.ru*

Поступила в редакцию 20.11.2017. После доработки 15.02.2018. Принята к публикации 15.03.2018.

В результате многолетних исследований (в пойменном экотипе – 21-30 лет, в экотипе песчаных террас – 12 лет) определена продолжительность основных фенологических фаз развития ольхи черной. Влияние эдафического фактора проявляется в датах окончания и продолжительности отдельных фенофаз. В экотипе песчаных террас на 8 дней раньше закладываются ростовые почки, на 2 недели раньше опадает листва, период развития побегов продолжительнее на 7 дней. Статистически значимые различия между экотипами ($t_ф$=2.12-7.16 > $t_{95}$=2.01-2.03) выявлены в продолжительности сроков цветения и развития листвы. В каждом экотипе наиболее сильная зависимость продолжительности фенологической фазы выявлена при совместном влиянии условий тепло- и влагообеспеченности соответствующего периода ($r_{x(yz)}$=0.55-0.99). Идентичный фенологический спектр в экотипах наблюдается в годы с превышением среднемноголетнего значения гидротермического коэффициента в 1.5-2.0 раза.

*Ключевые слова:* степная зона, ольха черная, пойменный экотип, экотип песчаных террас, сезонное развитие, фенологические фазы, экологические различия феноспектра.

**DOI: 10.24411/1993-3916-2019-00041**

Для объектов растительного мира закономерна ежегодная динамика фенологических циклов развития. Их наступление, как правило, обусловлено определенными сезонными явлениями в природе, прежде всего, температурным режимом, имеющим зонально-климатические особенности (Шульц, 1981; Минин, 2000; Нейштадт, 1957; Зозулин, 1992).

Каждой фенологической фазе соответствует свой спектр погодных условий, обусловливающий даты начала, окончания, общую продолжительность периода. Динамичность метеоусловий сказывается на сезонной динамике фенологических циклов. Кроме климатического, факторами влияния являются загрязнение окружающей среды, произрастание в пределах урботерриторий и другие, связанные с антропогенным воздействием на ландшафты (Минин, 2000; Аверина, 2001; Федотова, Достоевская, 2013).

В естественных (ненарушенных) фитоценозах ведущая роль принадлежит факторам неживой природы, и их связь с фенологическим развитием характерна для всех биологических видов. Ольха черная (*Alnus glutinosa* Gaertn.) исключением не является.

Для естественных лесов степной зоны этот древесный вид является аборигенным (Бельгард, 1971; Гаель, 1980; Зозулин, 1992), что подтверждается данными спорово-пыльцевого анализа (Нейштадт, 1957). Ольха черная – один из немногих видов, способных произрастать в широкой амплитуде трофотопов (местообитаний, различающихся почвенным плодородием), но при соблюдении важного условия – близко расположенных грунтовых вод (Бельгард, 1971; Давидов, 1979; Гаель, 1980; Турчин, Турчина, 2005). Идентичные по увлажненности трофотопы преимущественно распространены в поймах рек и на террасах. В границах пойменных территорий преобладают почвы тяжелосуглинистого и легкоглинистого гранулометрического состава, на террасах – связно-песчаные, супесчаные. Сформировавшееся, таким образом, разнообразие экотопов (местообитаний с различными абиотическими условиями) является фактором влияния на морфологию и структуру произрастающей здесь растительности. Следствием адаптации к степным экотопам явилось формирование ольхой черной, как лесообразующей породой, двух экотипов насаждений: в притеррасной части поймы – пойменного экотипа, в понижениях на террасах – экотипа

песчаных террас.

Информация об особенностях фенологических фаз развития в насаждениях, произрастающих в разных экотопах, позволит установить наиболее оптимальные сроки заготовки семян, обосновать целесообразность использования посадочного материала, выращенного в пойменных условиях, для создания лесных культур на террасах и наоборот, и другие аспекты лесокультурного производства (Давидов, 1979; Гаель, 1980).

Известным является факт влияния метеоусловий на фенологический спектр растений, а сведения об особенностях прохождения фенологической фазы у одного и того же древесного вида, но произрастающего в разных экотопах, в литературе практически отсутствуют.

*Целью* настоящего исследования являлось выявление особенностей фенологического развития ольхи черной в экотопах, различающихся местоположением и гранулометрическим составом почв.

Задачи исследования:

– установить сроки наступления и продолжительность фенологических фаз развития в пойменном экотипе и экотипе песчаных террас;

– выявить влияние тепло- и влагообеспеченности на продолжительность фенофаз;

– сравнить фенологический спектр растений в разные по влагообеспеченности сезоны.

## Объекты и метод исследований

Ареал ольхи черной с границей степной зоны совпадают не на всем протяжении (Турчина, 2016). Согласно карте «Ареалов …» (Соколов и др., 1977), эта древесная порода практически не встречается на равнинной части Республики Крым, территориально входящей в лесной район степей (Приказ …, 2014), насаждения с преобладанием ее в составе наиболее распространены в центральной части степи (рис. 1). Здесь же зафиксировано примерно равное соотношение площади черноольшаников, произрастающих в разных экотопах: в поймах рек и на песчаных террасах (Турчина, 2016).

**Рис. 1.** Карта-схема степной зоны Европейской части России.

Центральная часть степной зоны, ограниченная 47-51° с.ш. и 40-43° в.д., входит в состав Евразиатской степной области Южно-Русской провинции (южная часть Русской равнины) Приволжско-Донского округа подзоны разнотравно-злаковых степей (Курнаев, 1973). В структуре равнинных биомов России объект исследования расположен на территории Причерноморско-

Приволжского регионального биома степей (Биомы России …, 2016, поз. 32). Климат территории является резко-континентальным с умеренно-холодной зимой (средняя температура января -8.8°С) и жарким летом (средняя температура июля +22.6°С). При среднегодовой норме атмосферных осадков 450-490 мм в течение года они выпадают неравномерно. Более 60% осадков приходится на вегетационный период, из них 60% – на летний период (07.05-12.09), в который они преимущественно выпадают в виде ливней, препятствуя, таким образом, их эффективному использованию растительностью. Начало вегетационного периода приходится на первую декаду апреля, окончание – на начало третьей декады октября. Теплый период также продолжителен – 180-190 дней. По условиям тепло- и влагообеспеченности регион относится к засушливой зоне: сумма температур выше +10°С составляет 3000-3100°С, гидротермический коэффициент (ГТК) – 0.73[1]. Засухи повторяются периодически: за 65 лет метеонаблюдений влажные условия теплого периода (ГТК – 1.6-1.3) наблюдались 2 раза, слабозасушливые (ГТК – 1.3-1.0) – 9 раз. В среднем на один слабозасушливый год приходится 2 засушливых и 3 очень засушливых (Турчина, 2016).

В таких условиях естественная древесная растительность является интразональным типом и приурочена к местоположениям, обеспеченным дополнительным увлажнением в виде осадков местного стока и близкорасположенных грунтовых вод. Такие условия преимущественно складывается в поймах рек и в понижениях песчаных террас. В этих местообитаниях ольха черная является типичным видом древесной флоры.

Объектами исследований стали насаждения ольхи черной Шолоховского лесничества (бывший Вешенский лесхоз) Ростовской области. Для этой территории (49°37' с.ш., 41°44' в.д.) характерно равное соотношение площади насаждений ольхи черной по экотипам.

Для реализации цели исследований к планируемым объектам сформулированы требования, которые состояли в идентичности состава, возраста, полноты с целью исключения влияния таксационных особенностей насаждений. По возможности, они должны были располагаться на небольшом расстоянии друг от друга. В экотипе песчаных террас такому требованию могли удовлетворять насаждения, произрастающие на первой надпойменной террасе. Объекты для наблюдения с закладкой постоянных пробных площадей, удовлетворяющих вышеописанным требованиям, подобраны на основе сопоставления картографических материалов (планы лесонасаждений) с таксационными описаниями и рекогносцировочного обследования.

Методика закладки площадей и проведения лесоинвентаризационных работ соответствовала требованиям отраслевого стандарта ОСТ 56-69-83 (1984). Возраст уточнялся при подсчете годичных колец на кернах, взятых в комлевой части деревьев среднего диаметра. Характеристика объектов для наблюдения за сезонным развитием насаждений приведена в таблице 1.

Следствием эдафических различий явились различия в продуктивности насаждений, видовом составе кустарниковой и травянистой растительности.

Наблюдения за фенологическими фазами развития велись на средних по размеру деревьях, расположенных в центральной части пробной площади (в целях исключения влияния габитуса, опушечного эффекта и т.д.).

С использованием методик, описанных в специализированной литературе (Иваненко, 1962; Бейдеман, 1974; Шульц, 1981; Минин, 2000) велись наблюдения за вегетативным и генеративным циклом развития деревьев. Фиксировались даты начала и окончания каждой фазы в пределах следующих циклов: развитие ростовых почек, развитие листвы, цветение, созревание, опадение и урожайность семян, рост побегов. Учет урожая семян проведен при использовании шкалы, предложенной В.Г. Каппером (Справочник …, 1978). Полученные данные обрабатывались с использованием методов математической статистики (Лакин, 1990) и средств электронной таблицы MS Excel. При расчетах ошибок средних значений дат, продолжительности фенологических фаз развития полученное число с десятичной дробью округлялось до целого дня в меньшую сторону: ошибка в ±1.3 и 1.8 дня считалась, как 1 день.

Сведения о погодных условиях в период прохождения фенологической фазы получены из архивных данных Вешенской и Казанской станций Росгидрометслужбы (Архив погоды …, 2017).

Исходной информационной базой являлись данные исследований на объектах филиала Всероссийского научно-исследовательского института лесоводства и механизации лесного хозяйства

[1] Гидротермический коэффициент вычислен по формуле, предложенной Г.Т. Селяниновым (1958).

«Южно-Европейская научно-исследовательская лесная опытная станция», с 2000 г. восстановленные и дополненные автором. Итоговая продолжительность наблюдений в насаждениях пойменного экотипа составила 21-30 лет (в зависимости от фенологической фазы), в насаждениях экотипа песчаных террас – 12 лет. Этот период достаточен для установления закономерностей и особенностей фенологического развития (Шульц, 1981; Минин, 2000; Аверина, 2001).

**Таблица 1.** Лесоводственно-таксационная характеристика объектов наблюдения.

| **Показатели лесоводственно-таксационной структуры** | **Значения показателей по экотипам насаждений** | |
|---|---|---|
| | **пойменных** | **песчаных террас** |
| Состав древостоя | 8 Олч, 2 Тб, ед. Ивб | 8 Олч, 2 Ос, ед. Б, Яб, Гр |
| Возраст, лет | 35 | 38 |
| Полнота | 0.7 | 0.7 |
| Бонитет | I | II |
| Средние высота (м)<br>и диаметр (см) | 19.0<br>20.5 | 17.5<br>18.1 |
| Подрост (виды, густота) | Вяз, тополь, редкий | Береза, яблоня, редкий |
| Подлесок (виды, густота) | Клен татарский, редкий | Черемуха, калина, крушина, редкий |
| Травяной покров | Широколистные виды трав (крапива, сныть, череда, таволга) | Преобладание злаков, разнотравье |
| Почва | Аллювиальная тяжело-суглинистая | Гумусированная супесчаная, подстилаемая слабо отсортированным песком |
| Иные сведения | Уровень грунтовых вод 1.2 м | Сильное задернение |

## Результаты и их обсуждение

Роль погодной обстановки в различии сроков сезонного развития известна (Бейдеман, 1974; Шульц, 1981). Фенологические фазы начинаются после усвоения растениями определенного количества солнечной энергии: при обилии тепла – раньше, при недостатке – позже.

Биологической особенностью ольхи черной является относительно раннее начало фенологических фаз и вегетативного, и генеративного цикла. В частности, в зоне хвойно-широколиственных лесов сроки начала цветения варьируют от третьей декады марта до второй декады апреля, облиствение начинается при средней многолетней сумме эффективных температур 95°С (Минин, 2000; Аверина, 2001).

Вычисленные среднемноголетние даты (табл. 2) указывают на наличие и климатических, и экологических особенностей фенологических фаз развития ольхи черной в степной зоне.

Для ольхи черной, произрастающей на южной границе ареала, как показывают данные в таблице 2, также сохраняется закономерность раннего начала сезонного развития. Даты начала фенологических фаз развития вегетативного (набухание ростовых почек) и генеративного (начало цветения) циклов в насаждениях обоих экотипов приурочены в среднем к первой декаде апреля и совпадают со среднемноголетней датой перехода температуры через +5°С (Турчина, 2016). Ростовые процессы начинаются при сумме положительных температур не более 70°С (табл. 3). Влияние тепла на физиологические процессы в тканях растений в этот период не столь значительно, поэтому разница в датах наступления фенофаз ранневесеннего цикла между экотипами минимальна (1-3 дня), причем начало генеративной фазы (цветение) в каждом экотипе опережает начало вегетативной фазы (набухание ростовых почек) на 1-2 дня.

Экологических различий в датах начала фенологических фаз не выявлено: с незначительной разницей (1-3 дня) начинается сокодвижение, набухание и разверзание ростовых почек, начало развития листвы. Биологической особенностью ольхи черной является цветение до распускания

листьев (Давидов, 1979). Заканчивается эта фаза генеративного цикла за 10-13 дней до распускания листьев (табл. 2). Весь период цветения сопряжен со среднесуточными температурами +5-7°С, и его окончание приурочено к дате перехода температур через +10°С (табл. 3).

**Таблица 2.** Даты наступления фенологических фаз развития ольхи черной.

| **Фенологическая фаза** | | **Дата наступления фенофазы в экотипе насаждений** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **пойменном** | | | **песчаных террас** | | |
| | | **самая ранняя** | **средняя** | **самая поздняя** | **самая ранняя** | **средняя** | **самая поздняя** |
| Начало сокодвижения | | 11.03 | 03.04±3 | 22.04 | 11.03 | 03.04±3 | 22.04 |
| Развитие ростовых почек | набухание | 19.03 | 08.04±2 | 24.04 | 19.03 | 09.04±3 | 24.04 |
| | разверзание | 03.04 | 17.04±1 | 06.05 | 12.04 | 19.04±1 | 29.04 |
| | заложение | 30.05 | 03.07±3 | 16.08 | 4.06 | 26.06±2 | 20.07 |
| Развитие листвы | начало облиствения | 10.04 | 28.04±2 | 11.05 | 16.04 | 29.04±1 | 07.05 |
| | полное облиствение | 21.04 | 14.05±2 | 04.06 | 28.04 | 19.05±3 | 05.06 |
| | начало пожелтения | 28.08 | 15.09±2 | 10.10 | 01.09 | 10.09±2 | 20.09 |
| | полное пожелтение | 16.09 | 30.09±2 | 18.10 | 16.09 | 1.10±3 | 22.10 |
| | начало опадения | 01.09 | 24.09±2 | 22.10 | 06.09 | 21.09±4 | 06.11 |
| | полное опадение | 07.10 | 26.10±2 | 13.11 | 01.10 | 11.10±2 | 10.11 |
| Цветение | начало | 19.03 | 07.04±2 | 22.04 | 22.03 | 08.04±3 | 22.04 |
| | конец | 27.03 | 15.04±1 | 28.04 | 02.04 | 19.04±2 | 30.04 |
| Созревание и опадение плодов и семян | начало | 12.08 | 12.09±2 | 05.10 | 03.09 | 13.09±2 | 04.10 |
| | конец | 29.08 | 02.10±3 | 30.10 | 25.09 | 05.10±3 | 25.10 |
| | конец опадения | семена преимущественно опадают постепенно в течение зимы | | | | | |
| | средняя урожайность, балл | – | 3.8 | – | – | 4.4 | – |
| Рост верхушечных и боковых побегов | начало | 04.04 | 22.04±2 | 08.05 | 10.04 | 22.04±3 | 08.05 |
| | окончание | 24.06 | 03.07±2 | 22.07 | 25.06 | 10.07±4 | 20.08 |

Фенологическая фаза цветения имеет минимальную продолжительность: 9 и 12 дней в пойменном экотипе и экотипе песчаных террас соответственно (табл. 4). Однако на этой фазе генеративного цикла начинает проявляться влияние эдафических условий.

Ольха зацветает в период, когда в пойме начинается паводок, а на террасах происходит сход снежного покрова (Турчина, 2016). Почва в пойме покрыта толщей паводковых вод, а почва на террасах обнажена. Для наступления фенофазы цветения требуется наличие накопленного определенного количества тепла не только стволами деревьев, но и поверхностью почвы. В ранневесенний период в пойме таким аккумулятором выступает вода. Особенностью песчаных почв (на террасах) является низкая теплоемкость и высокая теплопроводность, для аккумуляции необходимого количества тепла требуется больший период времени, поэтому фенофазы развития, которые проходят в начале вегетации, на террасах более растянуты по времени. И минимальная, на первый взгляд, разница между экотипами в продолжительности цветения статистически значима ($t_ф$=2.12 > $t_{95}$=2.01; табл. 4).

Развитие листвы является самой продолжительной фенологической фазой: 182 дня в пойменном экотипе и 166 дней в экотипе песчаных террас от начала распускания листьев до полного их опадения. В каждом экотипе продолжительность этой фазы наиболее стабильная, так как характеризуется минимальным коэффициентом вариации (5.2 и 3.6% в пойме и на террасах; табл. 4).

**Таблица 3.** Метеорологические условия наступления фенологических фаз развития ольхи черной в насаждениях поймы и песчаных террас

| **Фенологическая фаза развития** | **Значение показателей теплообеспеченности среднемноголетней даты наступления фенологической фазы развития в местообитаниях** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **сумма положительных температур** | | **сумма эффективных температур** | | **сумма температур выше +10°С** | |
| | **поймы** | **террасы** | **пойма** | **террасы** | **поймы** | **террасы** |
| Начало сокодвижения | 27±10 | 21±7 | 6±3 | 5±3 | – | – |
| Набухание ростовых почек | 58±7 | 61±11 | 22±4 | 22±6 | – | – |
| Разверзание ростовых почек | 117±8 | 137±19 | 52±6 | 59±14 | 13±6 | 71±41 |
| Заложение ростовых почек | 1529±69 | 1512±51 | 1057±55 | 1053±39 | 1322±65 | 1307±46 |
| Начало облиствения | 266±10 | 257±16 | 127±6 | 128±12 | – | – |
| Полное облиствение | 533±29 | 596±55 | 312±22 | 362±40 | 333±30 | 395±56 |
| Начало пожелтения | 2992±51 | 2913±55 | 2188±42 | 2182±61 | 2783±56 | 2710±63 |
| Полное пожелтение | 3177±55 | 3137±69 | 2308±46 | 2321±63 | 2924±57 | 2899±76 |
| Начало опадения | 3110±51 | 3001±56 | 2257±42 | 2240±57 | 2870±54 | 2794±66 |
| Начало цветения | 57±8 | 49±8 | 17±4 | 13±3 | – | – |
| Конец цветения | 128±11 | 131±14 | 53±7 | 57±94 | – | – |
| Начало созревания плодов | 2912±39 | 2952±54 | 2151±38 | 2208±59 | 2717±44 | 2748±69 |
| Конец созревания плодов | 3170±37 | 3221±58 | 2308±38 | 2373±56 | 2929±50 | 2998±79 |
| Начало роста верхушечных и боковых побегов | 181±19 | 201±27 | 72±11 | 98±19 | – | – |
| Окончание роста верхушечных и боковых побегов | 1551±72 | 1525±59 | 1009±32 | 1059±45 | 1255±40 | 1314±53 |

Начало облиствения приходится на период перехода среднесуточной температуры воздуха через +10°С. Листовые почки распускаются при достижении суммы положительных температур 257-266°С. Этот показатель в 2.7-2.8 раза превышает температурный порог, необходимый для прохождения этой же фенофазы в зоне хвойно-широколиственных лесов (Аверина, 2001). Объясняется это явление интразональностью лесной растительности в степной зоне и расположением ее в пониженных местах речных долин, которые в сравнении с водоразделами, прогреваются медленнее, и для накопления необходимого количества тепла требуется больший временной период.

Практически весь вегетативный цикл развития ольхи черной осуществляется в период со среднесуточными температурами выше +10°С (табл. 3). По мере нарастания теплообеспеченности становятся заметными различия между экотипами насаждений. На песчаных террасах раньше начинают желтеть листья и закладываться ростовые почки. Это является следствием (и отрицательным влиянием) повышенной теплопроводности песчаных почв. В результате полный цикл развития ростовых почек в среднем на 8 дней короче, а цикл развития листвы – на 12 дней

короче, чем в насаждениях пойменного экотипа (табл. 4). Различия в продолжительности фенофазы развития листвы статистически значимы ($t_ф$=7.16 > $t_{95}$=2.03). Высокие температуры воздуха, наблюдаемые в вегетационный период, приводят к замедлению метаболизма в тканях растений. Это особенно заметно на песчаных террасах и, несмотря на отсутствие значимых различий ($t_ф$=1.04 < $t_{95}$=2.01), проявляется в удлинении периода роста верхушечного и боковых побегов в среднем на 7 дней.

**Таблица 4.** Статистические показатели средней продолжительности фенологических фаз развития ольхи черной в пойменном экотипе и экотипе песчаных террас.

| Фенологическая фаза | Основные статистики фенологической фазы в экотипе насаждений | | | | | | | | Существенность различий продолжительности фенофазы между экотипами насаждений ($t_ф$)* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | поймы | | | | песчаных террас | | | | |
| | продолжительность, дни | σ | υ | ±m | продолжительность, дни | σ | υ | ±m | |
| Развитие ростовых почек | 87 | 18.0 | 20.7 | 4 | 79 | 22.8 | 28.0 | 6 | 1.11 |
| Развитие листвы | 182 | 9.5 | 5.2 | 2 | 166 | 6.7 | 3.6 | 1 | 7.16 |
| Цветение | 9 | 2.8 | 31.3 | 1 | 12 | 6.5 | 61.4 | 1 | 2.12 |
| Созревание плодов и семян | 21 | 7.3 | 34.0 | 1 | 23 | 4.3 | 18.8 | 1 | 1.41 |
| Рост верхушечного и боковых побегов | 73 | 15.3 | 20.2 | 3 | 80 | 22.3 | 27.2 | 6 | 1.04 |

**Примечания к таблице 4:** σ – среднее квадратическое отклонение, υ – коэффициент вариации; ±m – ошибка средней величины, * – $t_{95}$=2.01-2.03.

Различия сроков плодоношения между экотипами незначительны. Все фазы этого цикла на песчаных террасах наступают позже и заканчиваются позже. Общая продолжительность периода от начала до окончания созревания семян составляет 21 день и 23 дня в пойме и на террасах соответственно. Биологической особенностью ольхи черной является постепенное опадение семян в течение зимы (Давидов, 1979). Данные фенологических наблюдений (табл. 2) показывают, что у ольхи черной, произрастающей на южной границе ареала, эта особенность сохраняется. Экологические различия наблюдаются в урожайности семян. Согласно шкале урожайности, предложенной В.Г. Каппером (Справочник …, 1978), средние баллы составляют 3.8 и 4.4 в насаждениях поймы и террас соответственно. Более высокая урожайность на террасах не обусловлена наследственно, а является проявлением адаптивного механизма в сохранении вида вследствие произрастания в экстремальных экологических условиях.

Растения существуют в тесной взаимосвязи с внешней средой, продолжительность каждой фенологической фазы не является генетически обусловленным фактором и может варьировать в зависимости от тепло- и влагообеспеченности, складывающихся в период прохождения каждой фазы.

При оценке влияния погодных условий на продолжительность фенологических фаз ожидаема была линейная регрессия (рис. 2, 3), однако направление связи, сила сопряжения и ее значимость определяются не только фактором влияния (одним или несколькими), но и имеет некоторые экологические отличия (табл. 5).

При оценке корреляционных связей было принято решение об исключении из анализа некоторых показателей, а к некоторым – применить иную интерпретацию. В частности, в фенологической фазе «цветение» не могло быть проанализировано влияние суммы температур выше +10°С по той причине, что в сезон цветения ольхи черной такой температурный режим воздуха еще не устанавливается. Сумма температур выше +10°С для оценки влияния на полный цикл развития листвы (от начала облиствения до полного опадения) также не может являться достаточно информативным показателем, так как окончание этой сезонной фазы приходится на период, когда

устанавливаются среднесуточные температуры менее +5°С, и фиксируются первые заморозки. Поэтому для анализа влияния этого показателя теплообеспеченности расчет продолжительности фенофазы произвели по дате начала опадения листьев.

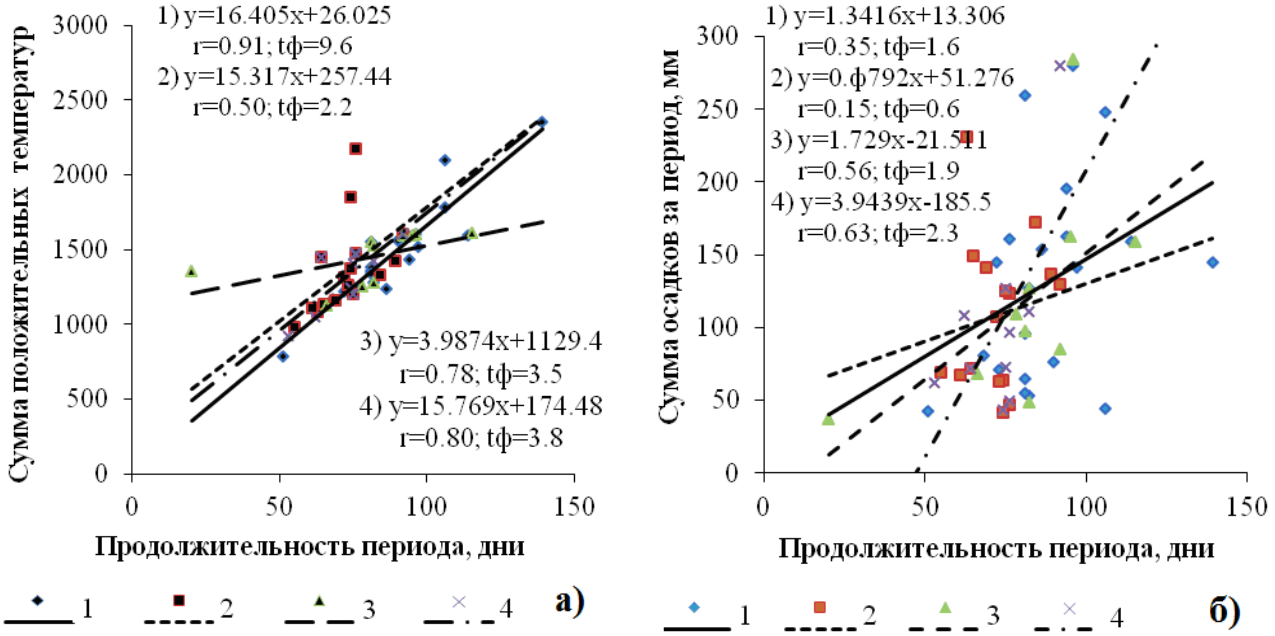



**Рис. 2**. Продолжительность периода роста и развития ольхи черной в зависимости от условий теплообеспеченности (а) и влагообеспеченности (б). *Условные обозначения:* цифры означают исходные данные, уравнения аппроксимации и коэффициенты корреляции с их значимостью продолжительности фенологических фаз: 1-2 – развитие ростовых почек и рост верхушечного и боковых побегов соответственно в пойменном экотипе, 3-4 – то же, но в экотипе песчаных террас.

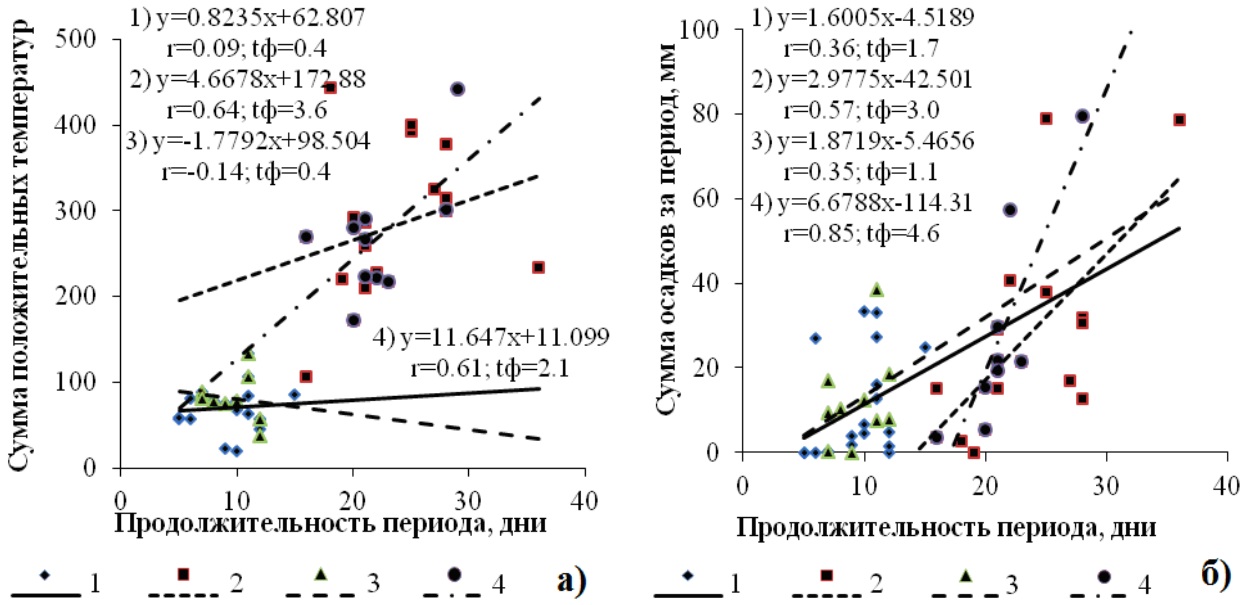



**Рис. 3.** Влияние суммы положительных температур (а) и влагообеспеченности (б) на продолжительность периода цветения и созревания плодов и семян ольхи черной. *Условные обозначения:* цифры означают исходные данные, уравнения аппроксимации и коэффициенты корреляции с их значимостью продолжительности фенологических фаз: 1-2 – цветение и созревание плодов и семян соответственно в пойменном экотипе, 3-4 – то же, но в экотипе песчаных террас.

**Таблица 5.** Значения коэффициентов парной и множественной корреляции между метеоусловиями и продолжительностью фенологической фазы.

| **Наименование фенологической фазы** | **Вид корреляции** | **Значения коэффициентов корреляции при влиянии** | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | **суммы температур выше 0°С** | **суммы эффективных температур** | **суммы температур выше 10°С** | **суммы атмосферных осадков** |
| Экотип пойменный | | | | | |
| Развитие ростовых почек | парная | 0.91±0.09 | 0.86±0.12 | 0.83±0.13 | 0.35±0.22 |
| | множественная* | 0.93±0.08 | 0.91±0.10 | 0.88±0.11 | – |
| Развитие листвы | парная | 0.85±0.11 | 0.65±0.16 | 0.78±0.13 | 0.17±0.21 |
| | множественная* | 0.88±0.10 | 0.66±0.16 | 0.82±0.12 | – |
| Цветение | парная | 0.09±0.23 | –0.33±0.22 | – | 0.36±0.21 |
| | множественная* | 0.37±0.21 | 0.53±0.19 | – | – |
| Созревание плодов и семян | парная | 0.64±0.18 | 0.39±0.21 | 0.24±0.22 | 0.57±0.19 |
| | множественная* | 0.77±0.15 | 0.73±0.16 | 0.68±0.17 | – |
| Рост верхушечного и боковых побегов | парная | 0.50±0.23 | 0.56±0.22 | 0.58±0.22 | 0.15±0.26 |
| | множественная* | 0.56±0.22 | 0.66±0.20 | 0.65±0.20 | – |
| Экотип песчаных террас | | | | | |
| Развитие ростовых почек | парная | 0.78±0.22 | 0.62±0.28 | 0.10±0.35 | 0.56±0.29 |
| | множественная* | 0.82±0.20 | 0.73±0.24 | 0.57±0.29 | – |
| Развитие листвы | парная | 0.72±0.25 | 0.42±0.32 | 0.58±0.29 | 0.57±0.27 |
| | множественная* | 0.76±0.23 | 0.48±0.31 | 0.59±0.29 | – |
| Цветение | парная | –0.14±0.35 | –0.41±0.32 | – | 0.35±0.33 |
| | множественная* | 0.39±0.32 | 0.55±0.30 | – | – |
| Созревание плодов и семян | парная | 0.61±0.28 | 0.40±0.32 | 0.46±0.32 | 0.85±0.19 |
| | множественная* | 0.95±0.11 | 0.98±0.08 | 0.99±0.06 | – |
| Рост верхушечного и боковых побегов | парная | 0.80±0.21 | 0.73±0.24 | 0.65±0.27 | 0.63±0.28 |
| | множественная* | 0.87±0.17 | 0.85±0.19 | 0.83±0.20 | – |

**Примечание к таблице 5:** множественная корреляция* – учтено совместное влияние указанного фактора теплообеспеченности и суммы атмосферных осадков за период; в тонированных ячейках значимость коэффициента парной корреляции меньше стандартного значения ($t_ф<t_{95}$).

В каждом экотипе влияние условий тепло- и влагообеспеченности на продолжительность фенологических фаз вегетативного и генеративного циклов разное. Начало генеративного развития совпадает с началом вегетационного периода, фенологическая фаза «цветение» имеет минимальную продолжительность, поэтому отсутствие связи с суммой положительных температур закономерно (коэффициент корреляции от -0.14 до +0.09). С нарастанием теплообеспеченности ее влияние на продолжительность цветения усиливается, но направление связи приобретает отрицательный характер (коэффициент корреляции от -0.33 до -0.41). Несмотря на невысокую силу связи и незначимый коэффициент корреляции ($t_ф$=1.3-1.5), эта тенденция отмечается в разных трофотопах и означает, что наиболее оптимальные условия для цветения ольхи черной складываются при температурном режиме, незначительно превышающем +5°С.

Различия в сроках созревания плодов и семян и продолжительности этой фенофазы развития между экотипами насаждений минимальны. Поскольку она приходится на окончание вегетационного периода, то влияние метеоусловий очевидно. Ведущим фактором, обусловливающим продолжительность фенофазы, в пойменном экотипе является сумма положительных температур (r=0.64±0.18), а в экотипе песчаных террас – влагообеспеченность периода (r=0.85±0.19).

При анализе влияния теплообеспеченности установлено, что сила связи по мере ее нарастания ослабевает. Для каждого экотипа характерна максимальная связь с суммой положительных температур и, за редким исключением, минимальная связь с суммой температур выше +10°С. Для

всех фаз вегетативного цикла, независимо от экологических условий, выявлена средняя и сильная степень сопряжения между этими показателями.

Влияние теплообеспеченности в пойменном экотипе сильнее сказывается на продолжительности фенологических фаз «развитие ростовых почек» и «развитие листвы». В сравнении с экотипом песчаных террас коэффициент парной корреляции здесь выше. Продолжительность роста верхушечных и боковых побегов в экотипе песчаных террас сильнее, чем в пойменном, зависит от температурных условий.

Выявленные различия в силе и направлении связи метеоусловий и продолжительности фенологических фаз развития обусловлены различием теплового режима почв в пойме и на террасах. Ранее указывалось, что прохождение каждой фенофазы сопряжено с накоплением определенного количества тепла. На глинистых холодных почвах поймы его требуется больше, поэтому и связь здесь сильнее. На песчаных почвах террас накопление одинакового количества тепла происходит при меньших температурах, поэтому связь слабее. Кроме того, на террасах усиливается роль осадков: корреляция связи с продолжительностью фенологических фаз выше, чем в пойме.

Несмотря на среднюю и сильную (в большинстве случаев) силу влияния каждого из изучаемых факторов, на долю их вариации в целом приходится меньшая часть. Об этом свидетельствует величина коэффициента детерминации (рис. 2, 3). В большинстве регрессионных моделей парной зависимости его абсолютное значение менее 0.7. Это означает, что каждый из изученных факторов заметного и высокого влияния на продолжительность фенологических фаз развития не оказывает. Физиологические процессы в тканях происходят не только при влиянии тепла, но и при влиянии влаги. Комплексное их воздействие выражено сильнее, на что указывает величина коэффициента множественной корреляции (табл. 5).

Совместное проявление влияния тепло- и влагообеспеченности имеет некоторые экологические различия, вызванные приоритетным влиянием одного из факторов. В пойменном экотипе за счет низкой силы влияния атмосферного увлажнения величина коэффициента множественной корреляции практически не отличается от коэффициента парной корреляции. В экотипе песчаных террас вследствие усиления роли осадков в продолжительности фенологических фаз различия коэффициентов парной и множественной корреляции заметнее.

Тепло- и влагообеспеченность периода каждой фенологической фазы развития динамична во времени и иногда имеет значительные отклонения от среднемноголетних значений. Поэтому и теоретический и практический интерес представляет выявление экологических различий продолжительности фенофаз в годы с различными погодными условиями.

Так как все фенологические фазы, за исключением цветения, приходятся на период активной вегетации, то базовым индикатором сравнения явился гидротермический коэффициент (ГТК). Сравнивалась продолжительность фенофаз в годы, когда ГТК был близок к среднемноголетнему значению (0.71), а также – в аномально сухие (ГТК – 0.39) и аномально влажные (ГТК – 1.41) годы, т.е. при отклонении среднемноголетнего значения почти в 2 раза. Продолжительность периодов и даты их начала и окончания в каждом экотипе изображены на рисунке 4.

Приведенные на рисунке 4 данные свидетельствуют, что выявленные общие тенденции различия продолжительности фенологических фаз между экотипами насаждений сохраняются и в годы со средней влагообеспеченностью, и в аномально сухие годы. Независимо от экологических условий период развития ростовых почек и период роста побегов с нарастанием влагообеспеченности увеличивается. А в развитии листвы проявляется влияние экологического фактора. У ольхи черной в экотипе песчаных террас этот период при увеличении влагообеспеченности вегетационного периода увеличивается в среднем на 4 дня, а в пойменном экотипе, напротив, практически на ту же величину сокращается. В аномально влажные годы экологические различия насаждений на продолжительность фенологических фаз влияния не оказывают – они идентичны и в насаждениях пойменного экотипа и в насаждениях экотипа песчаных террас (рис. 4). Эти периоды по основным климатическим показателям (годовая сумма осадков 700 мм, в том числе в вегетационный период – 470 мм, сумма температур выше +5°С составляет 3050°С, сумма температур в период активной вегетации – 2700°С) соответствует климатическим показателям зоны смешанных лесов (Курнаев, 1973).

В годы с разной влагообеспеченностью вегетационного периода наблюдается варьирование (иногда значительное) в датах наступления и окончания фенологических фаз (рис. 4).

Особенно сильно метеорологические условия влияют на фенологические фазы, которые

календарно совпадают с периодом прихода высоких температур. Преимущественно это заложение ростовых почек и рост побегов в высоту (формирование годичного прироста по высоте). Независимо от условий влагообеспеченности вегетационного периода заложение ростовых почек в насаждениях обоих экотипов заканчивается в первой декаде июля, когда максимальные температуры воздуха еще не фиксируются. Примерно сопоставимые даты этих периодов свидетельствуют не об отсутствии различий между экотипами насаждений, а о наличии адаптационных механизмов к условиям жаркого климата. В годы с высокой влагообеспеченностью заложение ростовых почек происходит на 14-17 дней позже среднемноголетних дат, и это характерно для насаждений обоих экотипов.

**Рис. 4.** Продолжительность фенологических фаз развития ольхи черной в годы с разным режимом влагообеспеченности вегетационного периода. *Условные обозначения:* 1 – развитие ростовых почек, 2 – развитие листвы, 3 – цветение, 4 – рост побегов; вверху указаны даты начала и окончания фенологических фаз в соответствующие по влагообеспеченности периоды.

Тенденция идентичности дат начала роста верхушечного побега в насаждениях обоих экотипов сохраняется независимо от условий влагообеспеченности вегетационного периода. В сравнении с многолетними данными в средние по увлажненности годы рост начинается на 6 дней позже, в аномально сухие – позже на 16 дней. Окончание роста побегов приходится на разные сроки. В сухие и средние по увлажненности годы в аренном экотипе даты несущественно отличаются от среднемноголетних (не более 4 дней), в пойменном экотипе рост заканчивается на 7-9 дней позже.

Как правило, с завершением вегетационного периода не происходит полное опадение плодов и семян. Для ольхи черной, произрастающей в разных экологических условиях, характерно постепенное опадение в течение зимы. Но только в годы с влагообеспеченностью, соответствующей средним значениям и выше. В аномально сухие годы опадение семян фиксируется к окончанию вегетационного периода в насаждениях обоих экотипов. При развитии ассимиляционного аппарата растений различия в датах прихода начальной фазы (облиствение) незначительны как по экотипам насаждений, так и в годы с разным режимом увлажнения. Влияние сухого периода с высокими температурами наиболее сильно проявляется в экотипе песчаных террас: полное опадение листвы фиксируется на 2 недели раньше среднемноголетних сроков.

Анализ сезонного развития насаждений, выявленные различия в датах наступления, окончания, общей продолжительности фенологических фаз в годы с разной влагообеспеченностью свидетельствуют о том, что насаждения пойменного экотипа менее зависимы от метеоусловий, что позволяет им наиболее полно реализовать гидроклиматический потенциал территории.

## Заключение

Ольха черная в степной зоне произрастает в экотопах, заметно различающихся гранулометрическим составом, гидрологическим режимом и, как следствие, тепловыми

характеристиками почв. Обособленное развитие в разных эдафических условиях в течение длительного времени предопределило различия между экотипами в сроках прохождения фенологических фаз, во влиянии условий тепло- и влагообеспеченности на их продолжительность, в особенностях развития в разные по увлажненности годы.

Наиболее полно климатический потенциал территории насаждениями обоих экотипов реализуется только в годы с высокой влагообеспеченностью вегетационного периода, в них наблюдается идентичный по датам и продолжительности феноспектр. По данным многолетних наблюдений экологические различия выявлены в фенологических фазах вегетативного цикла. На террасах раньше закладываются ростовые почки и опадает листва, позже заканчивается рост побегов.

Использование коэффициентов парной и множественной корреляции позволили установить ведущие факторы влияния на продолжительность фенологических фаз. В пойменном экотипе ими является теплообеспеченность ($r_{xy}$=0.50-0.91; $r_{x(yz)}$=0.37-0.93), в экотипе песчаных террас – влагообеспеченность соответствующего периода ($r_{xy}$=0.63-0.80; $r_{x(yz)}$=0.39-0.99).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Аверина И.А.* 2001. Особенности сезонного развития природы Керженского заповедника // Труды ГПЗ «Керженский». Т. 1. С. 347-388.

Архив погоды на Казанской станции. 2017. [Электронный ресурс https://rp5.ru (дата обращения 15.01.2017)].

*Бейдеман И.Н.* 1974. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ. Новосибирск: Наука. 153 с.

*Бельгард А.Л.* 1971. Степное лесоведение. М.: Лесная промышленность. 336 с.

Биомы России . 2016. Карты: для высших учебных заведений. М 1:7500000. 2016 / Ред. Г.Н. Огуреева. М.: ФОК-ГИС. 200 с.

*Гаель А.Г.* 1980. Близководные пески засушливых областей и их облесение ольхой черной и сосной обыкновенной // Лесоведение. № 3. С. 81-95.

*Давидов М.В.* 1979. Ольха. М.: Лесная промышленность. 78 с.

*Зозулин Г.М.* 1992. Леса Нижнего Дона. Ростов-на-Дону: Издательство Ростовского университета. 204 с.

*Иваненко Б.И.* 1962. Фенология древесных и кустарниковых пород. М.: Сельхозиздат. 184 с.

*Курнаев С.Ф.* 1973. Лесорастительное районирование СССР. М.: Наука. 203 с.

*Лакин Г.Ф.* 1990. Биометрия: учебное пособие для биологических специальных вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа. 350 с.

*Минин А.А.* 2000. Фенология Русской равнины: материалы и обобщения. М.: Издательство ABF/АБФ. 160 с.

*Нейштадт М.И.* 1957. История лесов и палеогеография СССР в голоцене. М.: Издательство АН СССР. 404 с.

Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации и экологии России от 18.08.2014, № 367 «Об утверждении перечня лесорастительных зон Российской Федерации и перечня лесных районов Российской Федерации». 2014. [Электронный ресурс http://legalacts.ru/doc/prikaz-minprirody-rossii-ot-18082014-n-367/ (дата обращения 15.01.2017)].

ОСТ 56-69-83. 1983. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки: введен 01.01.1984. М.: Издательство стандартов. 60 с.

*Селянинов Г.Т.* 1958. Происхождение и динамика засух // Засухи в СССР, их происхождение, повторяемость и влияние на урожай. Л.: Гидрометеоиздат. С. 5-30.

*Соколов С.Я., Связева О.А., Кубли В.А., Камелин Р.В., Яковлев Г.П., Грубов В.И., Леонова Т.Г., Васильев И.В., Горбунова Н.В., Сафронова И.Н., Иванишвили М.А., Катенин А.Е.* 1977. Ареалы деревьев и кустарников СССР. Т. 1: Тиссовые – Кирказоновые. Л.: Наука. 164 с.

Справочник по лесосеменному делу. 1978 / Ред. А.И. Новосельцева. М.: Лесная промышленность. 336 с.

*Турчин Т.Я., Турчина Т.А.* 2005. Леса степного Придонья. Ростов-на-Дону: Издательство Ростовского университета. 240 с.

*Турчина Т.А.* 2016. Научное обоснование систем воспроизводства насаждений ольхи черной (*Alnus glutinosa* Gaertn.) в степной зоне европейской части России. Дисс. … д. с.-х. наук. Станица Вешенская. 528 с.

*Федотова В.Г., Достоевская Л.П.* 2013. Фенологические сезоны в Санкт-Петербурге // Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера». Т. 5. № 4. С. 436-449.

*Шульц Г.Э.* 1981. Общая фенология. Л.: Наука. 188 с.

*АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2019, том 25, № 1 (78), с. 32-42*

**ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ**

*УДК 504.43*

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОЛЕПЕРЕНОСА НА ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

**© 2019 г. А.П. Белоусова**

*Институт водных проблем РАН*
*Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: belanna47@mail.ru*

Поступила в редакцию 16.05.2018. После доработки 20.07.2018. Принята к публикации 20.08.2018.

Рассмотрены экспериментальные исследования гидрогеохимические исследования в полевых условиях на воднобалансовых участках и лабораторных условиях. Установлены принципы выбора и оборудования воднобалансовых участков и лабораторных установок, выбора основных загрязняющих веществ и химического состава индикаторных растворов и промывной воды для промывки целиков и монолитов.

Предложена последовательность проведения экспериментальных опытов в полевых и лабораторных условиях.

Рассмотрена методика определения параметров солепереноса по математическим моделям макродисперсии (тремя методами: эталонных кривых, моментов и графоаналитическим), микродисперсии и растворения солей.

Методика экспериментальных исследований солепереноса опробована на Северо-Ершовской оросительной системы (СЕОС) в Саратовской области.

*Ключевые слова:* массоперенос, солеперенос, загрязняющее вещество, воднобалансовый участок, целики и монолиты, макродисперсия, микродисперсия.

**DOI: 10.24411/1993-3916-2019-00042**

Полевые экспериментальные исследования массопереноса загрязняющих веществ в подземных водах и ненасыщенной зоне обычно проводятся на опытных воднобалансовых участках. Опытные участки располагают на типичных по геоморфологическому, почвенному, гидрогеологическому строению (глубина залегания, минерализация грунтовых вод, степень естественной дренированности) и условиям их засоления или загрязнения. Полученные в процессе исследований материалы служат основой для выбора расчетных математических моделей для определения параметров массопереноса (миграции) типичных для данного гидрогеологического района.

Точность и достоверность прогнозов водносолевого режима зависит от выбора воднобалансовых участков и проведения на них комплекса специальных гидрофизических и гидрогеохимических исследований.

Рассмотрим методику экспериментальных исследований солепереноса на примере Северо-Ершовской оросительной системы (СЕОС) в Саратовской области.

## Материалы и методы

*Выбор и оборудование воднобалансовых участков.* Методикам экспериментальных гидрогеохимических исследований и выбора воднобалансовых участков посвящены многие работы, обзор которых приведен у А.П. Белоусовой (2001).

*Оборудование опытной геохимической площадки (на воднобалансовом участке).* Опытную площадку для проведения экспериментальных исследований солепереноса устраивают в полевых условиях. *Задачами лабораторных исследований солепереноса являются*: а) изучение закономерностей солепереноса; б) определение параметров солепереноса; в) проверка соответствия теоретических моделей природной среде. Площадка состоит из котлована с оборудованием для гидрогеохимических исследований и куста гидрогеохимических скважин.

Глубина котлована составляет 3 м, что определяется глубиной залегания магистральных каналов и дрен, а также положением в процессе орошения «критической» глубины залегания грунтовых вод,

при достижении которой возникают процессы засоления пород. Ширина котлована – 3 м, длина определяется количеством целиков[1], которые в нем устанавливают. При 8-10 целиках длина составляет около 30 м, при меньшем их количестве, соответственно, уменьшается. Котлован сооружают механизированным способом, при его проходке оставляют нетронутые квадратные целики грунта, которым в дальнейшем вручную придают цилиндрическую форму. Перед установлением целиков готовят оборудование, состоящее из:

1) металлических кожухов – тонкостенных вентиляционных труб диаметром 0.6 м и более, высотой 1.0-1.5 м; в стенках труб на заданной высоте от верхнего торца прорезают отверстия диаметром 0.03 м для установки фильтров;

2) металлических поддонов диаметром 0.6 м и более, высотой борта 0.1-0.15 м, в днище поддона на стыке с бортом прорезают отверстие, к которому приваривают кран для отвода собирающегося в поддоне фильтрата.

*Оборудование целика.* На подготовленный целик цилиндрической формы заданного диаметра надевают металлический кожух так, чтобы между стенкой целика и трубы по всему диаметру оставался зазор в 1.5-2.0 см. Зазор заливают битумом с добавлением парафина. Когда битум полностью застывает, половину целиков отрывают от днища котлована и устанавливают в поддон со слоем гравия. На верхнюю поверхность целиков задавливают кольцо (диаметр которого на несколько сантиметров меньше диаметра целика) высотой 0.1-0.15 м, оно служит для поддержания постоянного уровня воды на поверхности целика. При установке кольца добиваются хорошей герметичности, для чего внутренний шов на границе кольца с породой тщательно трамбуют частицами породы, а внешний шов проливают битумом. На кольцо устанавливают поплавковое устройство, регулирующее подачу воды в него. В стенках целика на расстоянии 0.2-0.25 м от нижнего торца и в середине с двух сторон специальным буром проделывают отверстия диаметром 0.024 м и длиной 0.3 м (рис. 1) для установки бактериальных керамических фильтров марки «1а11» для отбора поровых растворов, а также отверстия для тензиометров, которыми измеряют всасывающее давление. Фильтры медленно вдавливают в отверстия так, чтобы между стенкой отверстия и фильтром не было зазора, для чего диаметр отверстия должен быть чуть меньше диаметра фильтра. В противном случае проводят тампонаж зазора отверстия выбуренным грунтом. При установке фильтров брать руками его пористую поверхность запрещается. Фильтр через шланг соединяют с вакуумным сосудом, в который отбирают поровый раствор и который в свою очередь соединяется с вакуумным насосом. При установке фильтра он должен находиться на одном уровне с вакуумным сосудом и насосом.

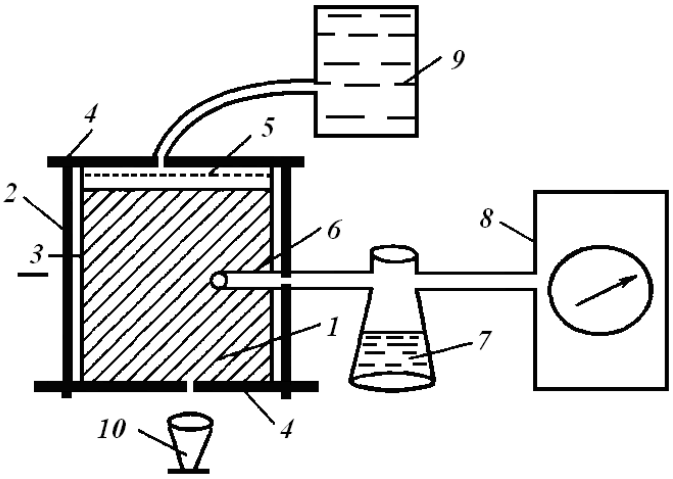



**Рис. 1.** Лабораторная установка. *Условные обозначения:* 1 – тело большого монолита, 2 – металлический кожух, 3 – битумная заливка, 4 – поддон, 5 – поддерживаемый уровень воды, 6 – бактериальный керамический фильтр, 7 – вакуумный сосуд для отбора поровых растворов, 8 – вакуумный насос, 9 – устройство для подачи воды и растворов, 10 – сосуд для сбора фильтрата.

[1] Целик – цилиндрической формы столб грунта, который выкапывают на дне котлована и на который надевают металлический кожух.

Подача воды в кольца проводится любым автоматическим или полуавтоматическим прибором (например, прибором Нестерова). Для проверки готовности целика к опыту в вакуумных сосудах создают разряжение, и если оно удерживается, то целик готов к эксперименту. В журнале наблюдений за ходом опыта на первой странице чертят схему оборудования целика, записывают его адрес, интервалы его установки в котловане (с поверхности 0-1.5 м, со снятым почвенным слоем 0.5-2.0 м или другие варианты установки, определяемые необходимостью изучения солепереноса в том или ином горизонте трехметровой толщи пород зоны аэрации).

На расстоянии 10-15 м от котлована оборудуют куст гидрогеохимических скважин для наблюдения за сезонными колебаниями в составе солей в породах зоны аэрации и грунтовых водах в естественных условиях и под влиянием поливов и промывок в орошаемых условиях. Куст состоит из четырех скважин, каждую из которых бурят в соответствующий сезон года (осень, зима, весна, лето). Их бурят всухую, с полным отбором керна до уровня грунтовых вод. Из водоносного горизонта отбирают пробы воды на сокращенный химический анализ и определяют pH.

Лабораторные методы позволяют увеличить глубинность изучения процессов солепереноса, что обеспечивается поинтервальным отбором малых монолитов по всему разрезу зоны аэрации, а в интервале глубин 2-3 м используют большие монолиты.

*Большие монолиты* отбирают из пород, вскрытых котлованом и идентичных по составу и строению породам целиков, поэтому место их отбора находится не далее чем в 0.5 м от последнего. Монолит имеет диаметр от 0.3 м и более и высоту 0.5 м и более. Монолит отбирают из днища или стенок котлована, вручную придают ему цилиндрическую форму, затем помещают в специальный кожух и транспортируют в лабораторию.

В стенках кожуха сверлят отверстия на заданной высоте и заданного диаметра (0.03 м) для установки керамических фильтров и тензиометров. Поддоны изготавливают из железа, диаметр их на 0.05-0.10 м больше диаметра кожуха, высота – 0.10-0.15 м, в днище прорезают отверстие для установки сливного крана.

*Подготовка большого монолита к опыту*. В лаборатории проводят зачистку торцов монолита, его нижний торец устанавливают в поддон, на дно которого насыпан слой мелкого гравия. На нижний и верхний торцы монолита надевают специальные крышки с отводом для жидкости. Между верхней крышкой и торцом монолита остается небольшой зазор в 0.5 см, который заполняют жидкостью (промывной водой или раствором). Через отверстие в верхней крышке подают промывную воду. Через отверстие в нижней крышке собирают пробы фильтра. Фильтры плотно без зазора должны входить в отверстия. Их устанавливают на расстояниях 0.1-0.2 м от верхнего и нижнего торцов монолита, если его высота менее 0.5 м, то их устанавливают на высоте 0.15-0.2 м выше нижнего торца, керамические фильтры присоединяют к вакуумному сосуду и вакуумному насосу соединительным шлангом. Готовность монолита к опыту проверяют также созданием разряжения в вакуумном сосуде, которое должно быть неизменным в течение 5-10 мин. В журнал наблюдений заносят адрес монолита, схему его оборудования.

*Отбор и подготовка к транспортировке малых монолитов*. Малые монолиты отбирают из скважин, пробуренных всухую рядом (2-3 м) от котлована, из всех зон, выделенных в разрезе зоны аэрации по результатам схематизации, и из каждой литологической разности пород. Его выполняют специальными грунтоносами диаметром 0.127 и 0.146 м, высота монолита – 0.2-0.3 см. Для лучшей сохранности монолит сразу при изъятии из грунтоноса обертывают несколькими слоями марли, пропитанной парафином с битумом, а затем помещают в обойму и зазор заливают битумом с парафином, при этом оставляя торцы монолита выступающими над краями обоймы. В таком виде малые монолиты удобно транспортировать и хранить и течение нескольких суток.

*Подготовка малого монолита к опыту*. В лаборатории торцы монолита зачищают, нижний торец помещают и поддон с гравием. Поддон имеет отвод для сбора фильтрата. В верхний торец вдавливают кольцо для поддержания постоянного уровня воды с помощью регулирующего устройства. Если размеры монолита позволяют установить в нем керамические фильтры, то его оборудуют, как и большой монолит, в противном случае в опытах собирают только фильтрат из поддона, а для подачи воды и поддержания постоянного уровня воды в кольце используют колбы с притертыми пробками. В журнале наблюдений указывают адрес монолита и схему его расположения.

*Рекомендации по количеству целиков и монолитов*. Каждый слой, выделенный в разрезе зоны

аэрации, характеризуется 8-10 точками опробования для получения статистически значимых определений. Учитывают целики вместе с большими и малыми монолитами. При этом слой пород 0-3 м характеризуется целиками и большими монолитами, общее количество которых составляет 8-10, каждый нижележащий слой характеризуется 8-10 малыми монолитами. Минимальное число монолитов по всему разрезу зоны аэрации – не менее 8-10.

*Определение начальных условий.* Перед опытом устанавливают средние значения показателей физико-механических, водно-физических и агрохимических свойств, степени и характера засоления пород, количество гипса и диоксида углерода в исследуемом разрезе зоны аэрации и выделенных в ней типовых зонах. Эти значения принимают в качестве начальных для опытов на целике, большом и малом монолитах, при этом для каждой типовой зоны (слоя) могут быть приняты свои средние значения показателей. Для этого в котлованах в местах установки целиков и отбора больших монолитов берут монолиты размером 15x15x15 см из интервалов глубин, соответствующих верхнему, среднему и нижнему сечениям целика, верхнему и нижнему сечениям больших монолитов. Через 0.1 м отбирают пробы грунта нарушенной структуры на водные вытяжки. Из скважин в интервалах взятия малых монолитов отбирают монолиты для определения показателей вышеперечисленных свойств пород. В лаборатории по этим монолитам определяют естественную влажность, пределы пластичности, коэффициент пористости, общую пористость, объемную массу скелета грунта, плотность, молекулярную влагоемкость, полевую и полную влагоемкость, степень влажности, максимальную гигроскопичность, состав почвенного поглощающего комплекса, водных вытяжек, гипса, диоксида углерода и гранулометрический состав пород. Номера проб, интервалы их отбора и виды анализов фиксируют в начале журналов наблюдений.

Начальные условия, как правило, изменяются по разрезу зоны аэрации. Для простоты расчетов по выбранным моделям солепереноса начальные условия искусственным путем приводят к однородным. Для этого до начала опыта используемый образец промывают водой в количестве четырех объемов его порового пространства (для монолитов, содержащих гипс, недостаточным оказывается и 10-15 объемов, т.к. гипс, по-видимому, покрыт коркой карбонатов, что резко снижает его растворимость) для выравнивания концентраций солей в нем и установления полного насыщения и стабилизации скорости фильтрации, что фиксируют контрольными анализами поровых растворов и фильтрата. Промывку монолитов от естественного засоления необходимо осуществлять снизу вверх с целью удаления из порового пространства защемленного воздуха. На монолитах с тяжелым суглинистым составом сделать это практически невозможно, т.к. промывка монолитов с гипсом длилась бы больше полугода. В связи с этим промывка монолитов проводилась сверху вниз. Такая постановка при прогонке через монолит четырех и более объемов пресной воды при открытом нижнем торце монолита позволяет удалить из него защемленный воздух, о чем свидетельствуют и данные определения величины тупиковой пористости в объеме пор, полученные при определении параметров солепереноса по $Cl^-$ из поровых растворов, которые соответствуют тем же величинам дифференциальной пористости, определенной на капилляриметре, где образец перед опытом насыщался снизу $\omega$=0.5-0.89 при дифференциальной пористости заданного диаметра 0.45-085, для СЕОС $\omega$=0.5-0.64 при дифференциальной пористости 0.48-0.6.

*Выбор и задание граничных условий.* Опыты по изучению солепереноса проводят в динамическом режиме. Основным граничным условием является условие 1 рода, т.е. постоянство концентрации индикатора во входном сечении, а также постоянство скорости фильтрации через испытуемый образец. Оно достигается тем, что на верхний торец целика или монолита заданным расходом или заданной скоростью подают раствор принятой концентрации. Постоянство скорости фильтрации или возможность ее интегрального осреднения достигается тем, что при промывке монолита от естественного засоления на подготовительной стадии скорость фильтрации испытывает в начале значительные колебания, к концу промывки – меньше, а в процессе самого опыта скорость фильтрации колеблется незначительно. Можно вести опыт при постоянном уровне раствора заданной концентрации в кольце. В процессе опыта соблюдение граничных условий контролируют проверкой значений поступающего расхода и заданной концентрации раствора, для чего отбирают пробы и выполняют контрольные анализы.

*Выбор исследуемых компонентов и индикаторного раствора.* Выбор исследуемых компонентов и индикаторного раствора зависит от назначения прогноза, характера установленных при

схематизации преобладающих физико-химических процессов при солепереносе и от начальных условий. В качестве основных ЗВ в мелиоративной и экологической задачах считают наиболее токсичные, присутствующие в породах зоны аэрации и в грунтовых водах. В составе токсичных ионов в породах зоны аэрации СЕОС выделяются $Cl^-$, $SO_4^{2+}$, $Na^+$, а с позиций возникновения обменных реакций и растворения гипса представляет интерес и перенос $Ca^{2+}$ и $Mg^{2+}$ , которые (вместе взятые) могут вызвать нежелательные изменения в структуре и составе почв, а также ухудшить состав подземных вод. Поэтому для определения параметров солепереноса был использован искусственно приготовленный раствор, включивший в себя все названные ионы. Минерализация индикаторного раствора не должна превышать 3 г/л, чтобы в процессе солепереноса в системе порода-вода физико-химические взаимодействия подчинялись линейному закону, описанному изотермой У. Генри. В этом случае учет физико-химических процессов делают по В.М. Шестакову (1979). Состав индикаторного раствора и промывной воды СЕОС приведен и таблице.

**Таблица.** Состав индикаторного раствора и промывной воды.

| Тип раствора | Ионный состав (г/л) | | | | | | Минерализация (г/л) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Cl^-$ | $SO_4^{+2}$ | $Ca^{+2}$ | $Mg^{+2}$ | $Na^+$ | $HCO_3^-$ | |
| Пресная промывная вода | 0.08 | 0.01 | 0.04 | 0.02 | 0.01 | 0.027 | 0.60 |
| Индикаторный раствор | 1.21 | 0.78 | 0.34 | 0.19 | 0.41 | 0.02 | 2.95 |

*Методика проведения опыта* на больших и малых монолитах и целиках состоит из двух этапов:

I этап – налив в монолит искусственного многокомпонентного раствора минерализацией 3 г/л. Через монолит должно профильтроваться не менее четырех объемов его порового пространства. Назначение этого этапа заключается в изучении засоления пород из зоны аэрации.

II этап – налив в монолит пресной воды с целью изучения процесса рассоления. Через монолит также должно профильтроваться не менее 4-х объемов порового пространства.

*Ход опыта*. Опыт проводят в условиях полного насыщения монолита, достигнутого еще при предварительной его промывке от естественного засоления, в процессе опыта постоянно фиксируют расход промывной жидкости, отбирают пробы поровых растворов и фильтратов. Продолжительность этого опыта определяется условием выравнивания концентраций раствора во входном и выходном сечениях монолита. В процессе опыта гидрогеохимическая обстановка (pH, Eh, и t°C раствора и окружающей среды) должна быть приближена к натурной. Поэтому опыты по изучению солепереноса и в лабораторных условиях должны проводиться в летнее время при соблюдении близкого температурного режима.

Отбор проб растворов и фильтрата в процессе опыта осуществляется в следующей последовательности.

1. Отбор проб проводят в тщательно промытую в дистиллированной воде и высушенную посуду .
2. Создав разряжение 0.8-0.9 атмосфер в керамических фильтрах, их прокачивают для удаления скопившегося после предыдущего отбора порового раствора. После этого отбирают поровые растворы из фильтров, объем проб должен быть не менее 30 мл.
3. Фильтрат из поддонов отбирают путем его свободного стока через сливное отверстие.
4. Для обеспечения точности расчета параметров, чтобы время наполнения пробы поровым раствором было значительно меньше общего времени регистрации выходной кривой.
5. Интервалы отбора проб растворов и фильтрата: на каждом этапе опыта в первые трое суток отбор проводят через три часа, в следующие трое суток – через 6 часов, затем – через 12 и 24 часа.
6. В пробах поровых растворов и фильтрата определяют концентрацию заданных ионов.
7. Одновременно с отбором проб проводят замеры расхода подаваемого раствора по шкале мерного прибора.
8. После окончания опытов из монолитов отбирают пробы грунта на те же виды анализа, что и до опыта. Это необходимо для выявления изменений свойств пород при длительной фильтрации, которые могут возникнуть и при орошении.
9. Текущая обработка опытов заключается в построении в процессе опыта и в соответствии с результатами микрохимического анализа поровых растворов и химического анализа фильтров

выходных кривых изменения концентрации $Cl^-$, $SO_4^{2+}$, $Ca^{2+}$, $Mg+^2$, $Na^+$ во времени.

Продолжительность одного опыта составляла 30-60 суток для СЕОС, как и предварительной подготовки (промывка монолита пресной водой), т.е. опыты по изучению процессов солепереноса в глинистых грунтах являются очень длительными, что следует учитывать при планировании изысканий на различных стадиях проектирования оросительных систем.

После завершения промывки монолитов концентрация ионов в фильтрате на выходе из монолита практически равна концентрации ионов в промывной воде на входе, выравнивания концентраций ионов в поровом растворе не происходит (за этот же период времени). Кроме того, в поровых растворах, отжатых на прессе, концентрация всех ионов превышает их концентрацию в последней пробе раствора, отобранного из керамического фильтра (рис. 2). Это можно объяснить двумя причинами: процесс выноса солей из слабопроницаемого порового пространства более длительный, чем вынос из проницаемого; при отборе проб порового раствора в фильтр попадает фильтрат и происходит разбавление, смешение порового раствора и фильтрата.

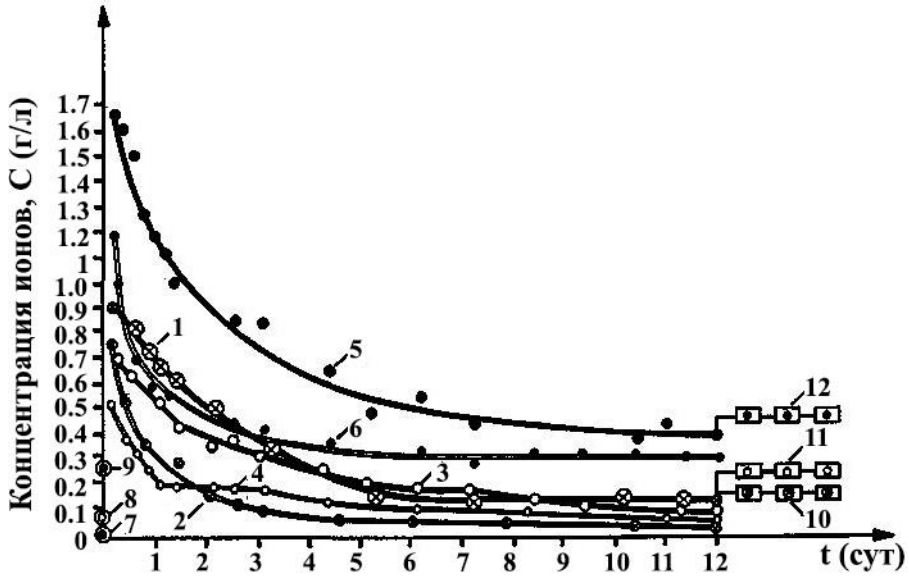



**Рис. 2.** Выходные кривые C=f(t) для рассоления в большом монолите. Выходные кривые (поровый раствор) по ионам: 1 – $Cl^-$; 3 – $Ca^{2+}$; 5 – $Mg^{2+}$; выходные кривые (фильтрат) по ионам: 2 – $Cl^-$; 4 – $Ca^{2+}$; 6 – $Mg^{2+}$; концентрации ионов в промывном растворе: 7 – $Cl^-$; 8 – $Ca^{2+}$; 9 – $Mg^{2+}$; концентрации ионов в поровом растворе, отжатом на прессе: 10 – $Cl^-$; 11 – $Ca^{2+}$; 12 – $Mg^{2+}$.

Анализ показателей свойств пород в монолитах до и после опыта указывает на значительное изменение их свойств под влиянием длительной фильтрации; так, уменьшение засоления пород с 10 до 80% приводит к уменьшению пористости на 1-12% и увеличению объемного веса на 1-20%, в составе почвенного поглощающего комплекса (ППК) также происходят изменения: количество обменного кальция увеличивается с 1 до 80%, а натрия уменьшается с 1 до 80%, количество магния в ППК практически не изменяется. Все это свидетельствует, с одной стороны, об ухудшении фильтрационных свойств пород за счет кольматажа трещин и пор, а с другой, о вытеснении из ППК иона $Na^+$ ионом $Ca^{2+}$ при растворении гипса.

*Определение параметров солепереноса.* При определении параметров возникает вопрос: следует ли проводить сглаживание выходных кривых изменения концентрации ионов во времени перед определением параметров? Для ответа были рассчитаны параметры по экспериментальной выходной кривой *C=f(t)* (несглаженной) и кривой, аппроксимированной экспоненциальной зависимостью (сглаженной), т.к. известно, что зависимость *C=f(t)* имеет вид экспоненты. Затем по полученным параметрам по первому и второму способам была решена прямая задача восстановления выходных кривых, после чего рассчитана систематическая ошибка между экспериментальными значениями концентраций и новыми расчетными значениями (между выходными кривыми). Расчеты показали, что наименьшая ошибка характеризует первый способ определения параметров по несглаженной выходной кривой ($\sigma \cong 20\%$), по второму способу ошибка определения больше ($\sigma \cong 26\%$). Следовательно, гидрогеохимические параметры по многопараметрическим моделям целесообразно определять по экспериментальным выходным кривым, не сглаживая их предварительно.

*Определение параметров солепереноса по модели макродисперсии.* Параметры солепереноса

определялись (Белоусова, 2001) тремя методами: эталонных кривых, моментов и графоаналитическим.

Рассмотрим определение параметров солепереноса *графоаналитическим методом*. Модель макродисперсии (в микронеоднородной среде, гетерогенно – блоковая) представляется системой дифференциальных уравнений (Шестаков, 1979; Шестаков и др., 1992):

$$\upsilon \frac{\partial C}{\partial z} = \alpha (C^* - C),$$

$$n^* \frac{\partial C^*}{\partial t} = \alpha (C - C^*) \qquad (1),$$

$$\alpha = \alpha_л + \alpha_в,$$

где $C^*$ – концентрация иона в блоке, $C$ – концентрация иона в канале, $\alpha$ – коэффициент массообмена между блоками и каналами ($\alpha_k$ и $\alpha_d$ отражают действие конвективного и диффузионного переноса в каналах). Первое уравнение отвечает переносу солей в каналах, второе – в блоках и является основным при описании массопереноса в этой модели, так как наибольшее количество солей находится в слабопроницаемых блоках. Расчетными параметрами этой модели являются $n^*$ и $\alpha$.

Для обработки опытных данных используется фундаментальное решение уравнений (1), полученное при условии постоянства концентрации раствора на выходе в испытуемый образец и постоянства скорости фильтрации (Шестаков, 1979; Шестаков и др., 1992):

$$\overline{C} = \frac{C - C_H}{C_п - C_H} = F_\tau(\eta, \tau); \quad C^* = \frac{C^* - C_H^*}{C_п - C_H^*} = 1 - F_\tau(\tau, \eta); \qquad (2),$$

$$\tau = \frac{\alpha t}{n^*}; \quad \eta = \frac{\alpha z}{\upsilon} \qquad (3),$$

где $F_\tau$ – специальная функция, подробно табулированная и приведенная в работе В.М. Шестакова (1979); $\tau$, $\eta$ – безразмерные переменные времени и расстояния; $C$ – текущая концентрация; $C_н$ – начальная концентрация иона в монолите; $C_п$ – концентрация иона в промывной воде.

Обработка результатов эксперимента проводится по методике А.А. Рошаля (1980) на основе линейной аппроксимации зависимости $\frac{1-F_\tau}{\tau}$ от $\tau$, так как в полулогарифмическом масштабе $\frac{lg(1-F_\tau)}{\tau}$ и lg $\tau$ при больших значениях $\tau$ эта зависимость представляет собой прямую линию.

Для обработки экспериментальных данных удобно строить график зависимости $\frac{lg\bar{C}}{t}$ от lg $t$, который является прямой линией. Тангенс угла наклона ее ($m_c$) и величина отрезка lg $t^0$, отсекаемого ею на оси lg $t$, зависят не только от безразмерной переменной $\eta$ (или параметра $\alpha$), но и от комплексного параметра $\alpha/\eta$. Для разделения влияния параметров рассчитывается величина $\varepsilon = \lg m_c + lg^\circ t^0$, которая уже однозначно зависит от $\eta$ (рис. 3).

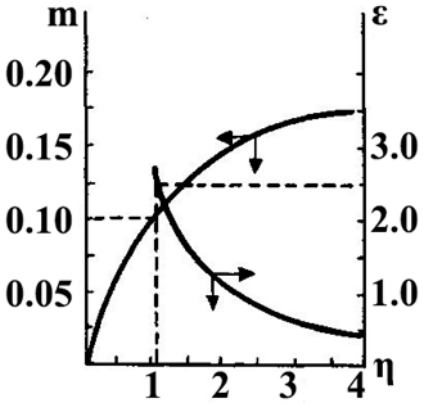



**Рис. 3**. Номограмма для определения параметров солепереноса (Рошаль, 1979).

Найдя по этому графику величины $\eta$ и $m$, определяют коэффициент массообмена и эффективную пористость (Шестаков, 1979; Шестаков и др., 1992):

$$\alpha = \frac{\upsilon}{z}\eta;\ \eta^* = \alpha\frac{m}{m_c} \quad (4).$$

Кроме графоаналитического метода параметры солепереноса определяли методом эталонных кривых и методом моментов.

*Определение параметров солепереноса по модели микродисперсии (микрогетерогенная среда).* Модель микродисперсии (в микронеоднородной среде) описывается уравнением (Рошаль, 1980):

$$n^*\frac{\partial C}{\partial t} + \upsilon\frac{\partial C}{\partial z} = D\frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - \frac{n^*\omega\upsilon\partial^2 C}{\alpha\,\partial z\partial t} - \frac{n^{*2}(1-\omega)\omega\partial^2 C}{\alpha\,\partial t^2} \quad (5),$$

где $n^*$ – эффективная пористость, $\upsilon$ – средняя скорость фильтрации (м/сут), $C$ – концентрация иона (г/л), $z$ – вертикальная координата, $\omega$ – относительный объем застойных зон в объеме пор, $\alpha$ – коэффициент массообмена между застойными и проточными порами (1/сут), $D$ – коэффициент микродисперсии (м$^2$/сут), зависящий от скорости фильтрации.

Для ограниченной длины опытной колонки и непрерывного запуска индикатора постоянной концентрации используют приближенное решение предыдущего уравнения (Рошаль, 1980):

$$\overline{C} = 0.5erfc\,(\xi_3);\quad C\,(0,z) = C^*(0,z) = C_H;\quad C\,(0,t) = C_n;$$

при

$$\xi_3 = -A_1\ln\left[0.5\left(\frac{t_1}{\omega\,n^*}\right)\right] - B_1;\quad t_1 = \bar{t} - (1-\omega)\,n^*; \quad (6),$$

$$A_1 = \sqrt{R};\quad B_1 = \frac{0.25}{\sqrt{R}};\quad R = \frac{\omega^2 z}{\delta};\quad \bar{t} = \frac{\upsilon t}{z} = \frac{\upsilon}{z};\quad D = \delta\upsilon;\quad \delta = D \div \upsilon \quad (7),$$

где $A_1$ и $B_1$ – константы, зависящие от безразмерного комплекса $R$, графики их изменения получены численными расчетами (Рошаль, 1980): $V$ – интегральный объем воды (м), вычисляемый как $V = \int_0^t \upsilon\,dt$ и равный объему раствора, выраженному в метрах водяного столба, профильтровавшегося через единичную площадь поперечного сечения к моменту времени $t$.

По опытным данным модели микродисперсии определяем параметры $n^*$, $\omega$, $\delta$, и $D$, используя решение (5), в котором они входят в аргумент $\xi_3$ в виде безразмерных комбинаций (6). Параметры определяют графоаналитическим методом в следующей последовательности:

1. Строят график в координатах $\xi_3$ от $\lg t$ (рис. 4, экспериментальные точки). Значение $\xi_3$ определяется как обратная функция от интеграла вероятности $\xi_3 = arcerf\,(1 - 2\,\overline{C})$, где значения $\overline{C}$ определяются на каждый момент времени по экспериментальным данным. Значение $\xi_3$ определяется по таблицам интеграла вероятности путем перемены местами значения функции и аргумента. Функция $erf\,(1 - 2\,\overline{C})$ – нечетная, поэтому при изменении знака у аргумента изменяется знак и у нее.

2. При ω=0.5 график является прямолинейным; если ω<0.5, то начальные и конечные точки графика $\xi_3 = f(\lg t)$ отклоняются вправо от прямой; при ω>0.5 – влево. Если точки отклоняются от прямой линии, параметры определяют методом последовательных приближений. В каждой точке графика вычисляют значения $\bar{t}_1 = (2\omega - 1)n^*$ и его перестраивают в координатах $\xi_3$ от $\lg(\bar{t} + \bar{t}_1)$. Но так как значения ω и $n^*$ неизвестны, поступают следующим образом: в каждой точке графика прибавляют одну и ту же величину (например, 0.1) к координате $\lg\bar{t}$ (т.е. $\bar{t}_1$=0.1); если график не спрямился, эту величину прибавляют, пока он не станет линейным. Спрямление графика $\xi_3 = f(\lg t)$ получено при $\bar{t}_1$=0.4 (рис. 5); при ω<0.5 график смещается влево от первоначального, при ω>0.5 – вправо.

3. Получив спрямленный график (рис. 4) по тангенсу угла наклона прямой и оси $\lg(\bar{t} + \bar{t}_1)$, который определяется как соотношение катетов, вычисляется константа $A_1 = 0.434\ tg\ \alpha$; $tg\ \alpha = -4.5$, значение $tg\ \alpha$ отрицательное, так как угол находится во втором квадранте, $A_1 = -0.434x4.5 = -1.95$. Определяют величину $R = A^2 = 4.0$ и величину $B_1 = 0.25 \div A = -0.13$.

4. Величину $B_1$ откладывают на оси $\xi_3$ на графике $\xi_3 = f\left[\lg(\bar{t} + \bar{t}_1)\right]$ на рисунке 4 и проводят прямую, параллельную оси $\lg(\bar{t} + \bar{t}_1)$, до ее пересечения с экспериментальной (сдвинутой) прямой, в

точке пересечения устанавливают перпендикуляр к оси $\lg(\bar{t}+\bar{t}_1)$ и определяют величину $\bar{t}_0'$ =lg $t^0$=0.8.

5. По значениям $R$, $\bar{t}_0'$ и $\bar{t}_1$ рассчитывают миграционные параметры по формулам:

$$n^* = \bar{t}_0' - \bar{t}_1;\ \omega = \frac{\bar{t}_0' + \bar{t}_1}{2\bar{t}_0'};\quad \delta = \frac{(\bar{t}_0' + \bar{t}_1')^2 z}{4z_0^2 R};\quad D=\delta\upsilon \qquad (8),$$

где $z$ – глубина установки бактериологического фильтра; равная 0.4 м; $\upsilon$ – скорость фильтрации, равная 0.018 м/сут, $n^*$=0.8-0.4=0.4; ω=0.75; δ=0.056 м; $D$=1•10$^{-3}$ м$^2$/сут.

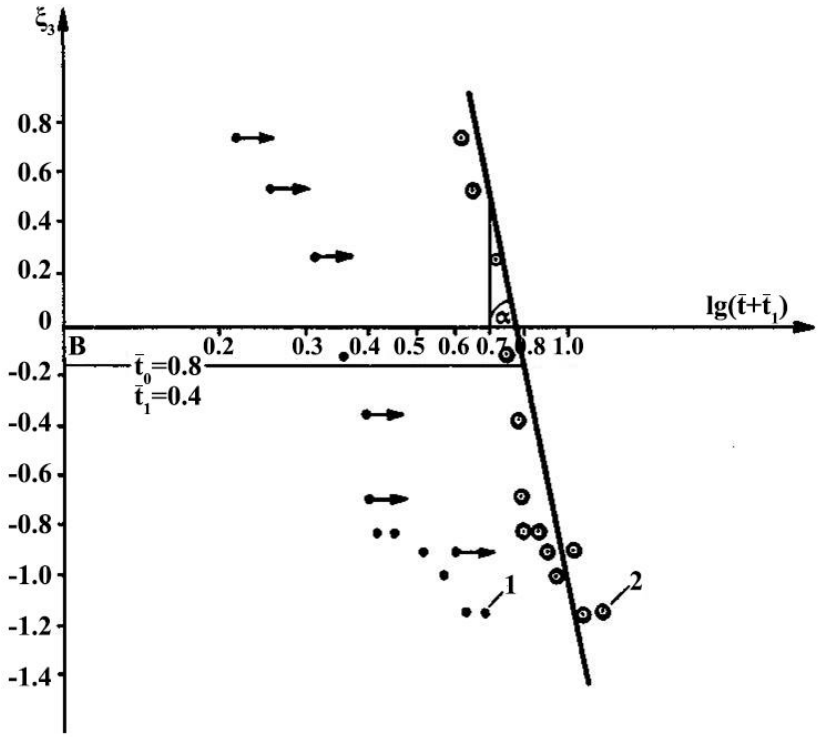



**Рис. 4.** Определение параметров по модели микродисперсии по большому монолиту. *Условные обозначения:* 1 – экспериментальные точки, 2 – смещенные точки, α – угол наклона прямой.

*Определение параметров по модели растворения солей.* Определение параметров проводилась по методике, изложенной в работе (Бочевер и др., 1979).

Для расчета константы скорости растворения $\alpha_p$ используется решение системы уравнений конвективного переноса и растворения в полуограниченном теле при условии $D_к$=0 и $\frac{\partial C}{\partial t}$=0. Тогда для второй стадии растворения, когда во входном сечении сформировалась выщелоченная зона, распределение концентрации в растворе описывается уравнением:

$$C=C_{max}-(C_{max}-C_n)\frac{1}{Ch^2\left[(l-at)\alpha_p\sqrt{\xi_0^o}/2\upsilon\right]} \qquad (9),$$

где $C_{max}$ – максимальное содержание веществ в породе (г/л), $l$ – длина монолита (м), $\upsilon$ – скорость фильтрации, α – скорость выщелачивания вещества из породы м/сут, определяемая по формуле (9):

$$\alpha = \frac{(C_{max} - C_n)\upsilon}{\xi_0^0 \gamma_c} \qquad (10),$$

где $\xi_0^0$ – удельное объемное вещество в породе, равное:

$$\xi_0^0 = \frac{\gamma_n}{\gamma_n}(1-n)\,\xi_0^B \qquad (11),$$

где $\gamma_n$ – плотность выщелоченной породы, $\gamma_c$ – плотность соли, $n$ – пористость породы, $\xi_0^B$ –

начальное удельное весовое количество растворимого вещества в породе. Коэффициент скорости растворения $\alpha_p$ равен (Бочевер и др., 1979):

$$\alpha_p = \frac{2\upsilon}{\xi_0^B(1-at)} arth\sqrt{\frac{C-C_n}{C_{\max}-C_n}}; \quad (12).$$

Для расчета $\alpha_p$ строят график φ (t), как видно на рисунке 5, где

$$\varphi = arth\sqrt{\frac{C-C_n}{C_{\max}-C_n}} \quad (13).$$

Коэффициент $\alpha_p$ рассчитывают по выражению:

$$\alpha_p = \frac{2\upsilon B}{l\sqrt{\xi_0^0}} \quad \text{или} \quad \alpha_p = \frac{2\upsilon tg\theta}{a\sqrt{\xi_0^0}} \quad (14),$$

где $B$ – отрезок, отсекаемый прямой $\varphi(t)$ на оси координат, $tg\ \theta$ – угловой коэффициент этой прямой. Величина скорости выщелачивания определяется через $\alpha_p$:

$$a = \frac{2\upsilon tg\theta}{\alpha_p\sqrt{\xi_0^0}} \quad (15).$$

Изменение режима влажности в зоне аэрации при орошении приводит к необходимости изменения значений солепереноса, так как в условиях эксперимента они определялись при помощи насыщения. По рекомендации А.А. Рошаля (1980), эффективная пористость в зоне неполного насыщения ($n^*_э$) вычисляется по формуле:

$$n^*_э = \Theta_{об} - n_{сорб} \quad (16),$$

где $\Theta_{об}$ – объемная влажность пород зоны аэрации, $n_{сорб}=n_a-n^*$, $n^*$ – эффективная пористость, установленная по экспериментальным данным для пород, $n_a$ – активная пористость, определенная по слабо сорбируемому иону ($Cl^-$), $n_a$ можно заменить величиной $\Theta_n$ – полной влагоемкости пород.

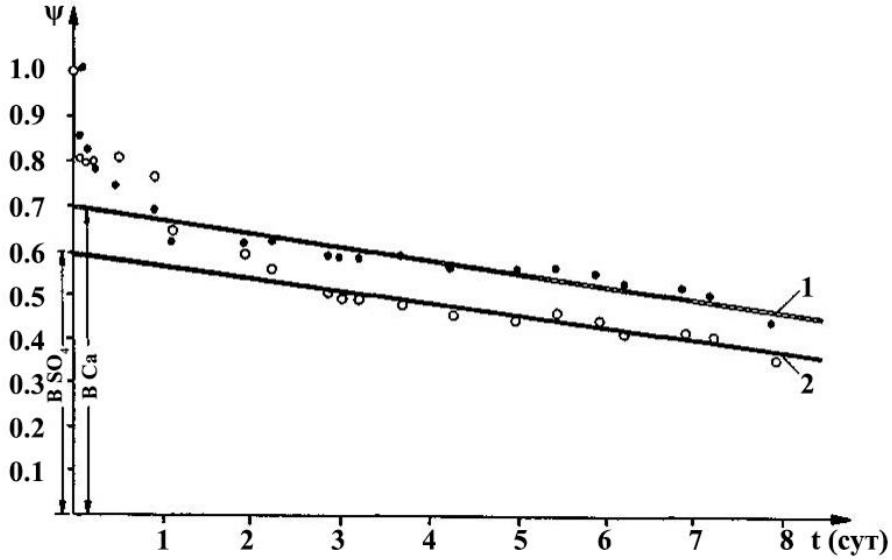



**Рис. 5.** Определение параметров по модели растворения. *Условные обозначения:* 1 – по $Ca^{2+}$; 2 – по $SO_4^{2-}$.

Значения коэффициента микродисперсии $D^*$ и коэффициента массообмена между блоками и каналами определяется по формуле:

$$D^* = D\Theta_{об}/n_a \quad (17).$$

Остальные физико-химические процессы учитываются в обобщенных параметрах солепереноса, определенных по моделям микро- и макродисперсии за счет наливов в монолиты многокомпонентных растворов, а затем вытеснения их пресной водой.

## Выводы

Экспериментальные исследования являются важным элементом в изучении процессов трансформации качества подземных вод как в природных, так и в техногенных условиях. Они

представляют собой основу для составления прогнозов изменения гидрогеохимической ситуации в ненасыщенной зоне и подземных водах при среднемасштабных исследованиях, а также являются неотъемлемой частью при крупномасштабных исследованиях. При среднемасштабных исследованиях они выполняются на типовых водно-балансовых участках, а результаты их интерполируются на территории крупных объектов с использованием методов, входящих в структуру специального гидрогеохимического районирования и оценок защищенности подземных вод. При крупномасштабных работах экспериментальные исследования выполняются для изучения территорий ограниченных размеров (практически в локальных масштабах) и результаты их используются для этих же территорий (участков).

В результате проведения данных работ были выполнены экспериментальные исследования солепереноса, разработана методика определения параметров солепереноса в полевых и лабораторных условиях. По этой методике проведены гидрогеохимические исследования на Северо-Ершовской оросительной системе (СЕОС) в Саратовской области, построены выходные экспериментальные кривые по промывкам от солей целиков и монолитов, определены параметры солепереноса по трем моделям массопереноса: макродисперсии, микродисперсии и растворения солей. Эти исследования явились первым этапом гидрогеохимических исследований на изучаемом объекте.

Последующим промежуточным этапом является оценка математическими методами достоверности параметров солепереноса, полученных в результате экспериментальных исследований, а также выбор модели, наиболее точно описывающей процесс массопереноса.

Завершающим этапом исследований является оценка возможности использования полученных параметров массопереноса для решения прогнозных задач на орошаемых массивах путем получения математических зависимостей параметров солепереноса от свойств фильтрационной среды, а также возможности их использования на других аналогичных по природным и антропогенным условиям массивах орошения.

Два последних этапа исследований являются предметом последующих исследований и статей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Белоусова А.П.* 2001. Качество подземных вод. Современные подходы к оценке. М.: Наука. 339 с.

*Бочевер Ф.М., Лапшин Н.Н., Орадовская А.Е.* 1979. Защита подземных вод от загрязнения. М.: Недра. 254 с.

*Рошаль А.А.* 1980. Методы определения миграционных параметров. М.: ВИЭМС. 62 с.

*Шестаков В.М.* 1979. Динамика подземных вод. М.: Издательство Московского университета. 368 с.

*Шестаков В.М., Пашковский И.С., Сойфер А.М.* 1992. Гидрогеологические исследования на орошаемых территориях. М.: Недра. 243 с.

*АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2019, том 25, № 1 (78), с. 43-48*

**ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ**

*УДК 631.4(571.54)*

# К ВОПРОСУ О ВОССТАНОВЛЕНИИ ПЛОДОРОДИЯ ДЕФЛИРОВАННЫХ СУХОСТЕПНЫХ ПОЧВ (НА ПРИМЕРЕ МОДЕЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ ОПЫТОВ)[1]

**© 2019 г. Г.Д. Чимитдоржиева**

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

Поступила в редакцию 04.04.2018. После доработки 20.05.2018. Принята к публикации 20.06.2018.

В связи с широким распространением в Забайкальском регионе дефлированных малогумусных каштановых почв проводился поиск способов для восстановления их утраченного плодородия путем постановки модельных экспериментов с применением зеленых масс и корней сидеральных культур: люцерны, донника и рапса. Результаты опыта показали, что внесенные свежие органические массы увеличивали содержания углерода на 32-53% от неудобренного варианта, азота – на 80% от использования зеленых масс люцерны и донника, а от их корней – на 27-55%, также в гумусе заметно возрастание гуматности, а в формах азота – минеральной.
*Ключевые слова:* дефлированные каштановые почвы, лабораторные модельные опыты, применение сидератов: люцерны, донника, рапса.
**DOI: 10.24411/1993-3916-2019-00043**

Широкое распространение дефляционных процессов в бассейне оз. Байкал, обусловленное в значительной степени сухостью климата, мощной инсоляцией, малой лесистостью земледельческих территорий и большой распаханностью, земель является причиной глубокой деградации почвенного плодородия. Из-за горного рельефа, легкого гранулометрического состава и неправильного использования свыше 600 тыс. га в Республике Бурятии 59.0% пахотных земель составляют каштановые почвы, которые подвержены дефляции и содержат всего 0.96-2.3% гумуса, тогда как в Западной Сибири эта цифра находится в пределах 1.5-4.0% (Гамзиков, 2009), а в Европейской части России эти показатели составляют 2.3-3.3% (Когут, 2012).

В последнее время в связи с ухудшением качества сельскохозяйственных земель и продукции растениеводства все больше внимания уделяется вопросам биологизации земледелия (Чекмарев, Лукин, 2014; Борисова, 2015; Дедов и др., 2017), т.е. внедрению в земледелие сидерации и применению зеленых удобрений. Их органическое вещество рассматривается как создаваемый в почве запасный резерв питательных веществ, которые при заделке в почву переходят в усвояемую растениями форму, причем не сразу, а постепенно в течение вегетационного периода. Особенно ценное качество этого удобрения из бобовых – его способность обогащать почву азотом. Принципиальное отличие зеленых удобрений в том, что в почву заделываются еще не отмершие зеленые сочные растения, богатые углеводами, белком и азотом. Такие удобрения – не новый прием в сельском хозяйстве, большое применение они имели еще в Древнем Риме и Греции, где использовали люпин белый (*Lupinus albus*). В Европе зеленое удобрение стало распространяться в XVI веке сначала в Италии, затем во Франции и Испании, а в конце XVIII века – в Германии и Польше. В нашей стране применять его начали несколько позже. Сидерация в основном с помощью люпиносеяния в нашей стране проводилась чаще на легких почвах, преимущественно на дерново-подзолистых (Довбан, 1996; Бузмаков, 1988; Заикин, 1991; Лошаков, 1999; Лошаков, Николаев, 1999). Имеются положительные результаты исследований на серых лесных суглинистых почвах Иркутской области (Шевчук, 1979), в Омской области – в повышении плодородия темно-каштановых почв. В настоящее время в нечерноземной полосе в качестве сидерата широко пропагандируется ценная кормовая культура – амарант (Нарциссов, 1983; Тужилин, 1995). В качестве сидератов можно использовать и другие культуры: донник, эспарцет, рапс. В последние годы в Германии в качестве зеленого

[1] Работа выполнена в рамках темы Госзадания № госрегистрации АААА-А17-117011810038-7.

удобрения используют ботву сахарной свеклы, а в Японии – не только специально высеваемые культуры, но и сорную растительность, листья и стебли бобовых, которые скашивают и переносят на поля. Во Франции и Англии применяют кормовой редис, горчицу белую, различные смеси с горохом и викой, китайскую редьку, яровой и озимый рапс, райграс итальянский, клевер луговой (Anon, 1986; (Morris et al., 1986; Morris,1996; Tine, Blevins, 1999).

На Алтае Г.Г. Морковкин и И.В. Демина (2009) приводят результаты многолетних исследований по минерализации сидератов, в которых устанавливают, что активнее она шла у гороха, горохоовсяной смеси, гречихи и слабее у пшеницы и смеси сорных трав. Они выявили увеличение гумуса на 4.6-11.2% при применении зеленых удобрений. На легких почвах Бурятии большое внимание отводится культивированию донникового пара, где А.К. Уланов с соавторами (2008, 2017) при этом отмечает бездефицитный баланс гумуса и возрастание продуктивности зернопаропропашного севооборота. Также авторы уделяют много внимания проблемам обработки почв, в особенности ее минимизации (Уланов и др., 2011; Кирюшин, 2013), системе применения удобрений, особенно органическим (Гамзиков и др., 2005; Лапухин, Уланов, 2010) для повышения гумуса. Следует отметить, что наибольшего внимания среди сидератов в условиях сухой степи Бурятии заслуживает желтый донник. Он развивает мощную корневую систему и отличается среди бобовых культур самой высокой засухо- и морозостойкостью. При благоприятных условиях он способен накапливать в почве азота до 150 кг/га, что эквивалентно 30 т навоза на 1 га.

Потому цель работы – на экспериментах модельных лабораторных опытов показать роль, которую внесение растительных остатков играет в повышении плодородия дефлированных почв на примере Бурятии. Полевые севообороты без внесения органических удобрений и без культивирования многолетних трав приводят к дополнительной потере органического вещества в почвах. Поэтому вопросы прогноза изменений ресурсов гумуса, охраны пашни и повышения ее плодородия являются одной из актуальных задач почвенно-земледельческой науки и практики сельского хозяйства в Забайкальском регионе. Природа холодных территорий легкоранима, восстановление ее крайне замедленно и очень сложно из-за подстилающих почвы легких супесчаных почвообразующих пород.

## Объекты и методы исследований

Объектом исследований были дефлированные каштановые почвы с содержанием углерода 0.56% и азота – 0.05%. В модельных опытах была поставлена задача изучить влияние сидеральных удобрений (корней и надземных масс люцерны, донника и рапса) непосредственно на гумусное состояние и формы азота почв. Растительные остатки (РО) добавлялись в почву из расчета 50 т/га. Их химический состав определен по А.И. Ермакову с соавторами (1952) и показан в таблице 1. Фракции углерода гумуса (табл. 1) определены по общепринятым методам (Агрохимические …, 1975). Компостирование почвы с органическими добавками проводилось в 4-кратной повторности в термостате при температуре 28°С и влажности, равной 60% от полной полевой влагоемкости (ППВ). Углерод определялся после 0, 90, 180, 360 и 720 суток (1, 2, 3, 4 сроки) инкубации почвы; данные были статистически обработаны при 4-кратной повторности.

## Результаты исследований

Для изучения были выбраны холодные каштановые почвы, обедненные гумусом, на самом востоке России (Чимитдоржиева, 2016). Запасы гумуса в слое 0-20 см составляют 45-70 т/га, а в 0-50 см редко превышают 80 т. Эти обстоятельства ставят нас перед необходимостью искать пути для сохранения, а в ряде случаев и повышения гумуса в пахотных каштановых почвах, поскольку они являются основными в земледельческой отрасли. Ранее путем компостирования недефлированных почв с количеством углерода 1.3% в оптимальных условиях температуры и влажности мы выявили его критически минимальный уровень – 0.8-0.9%, обязанный содержанию физической глины. При дефляционных процессах происходит механическое выдувание мелкозема и количество углерода падает до 0.3%, и на большой площади отмечаются движущиеся пески. Поэтому мы проводили модельные опыты по внесению РО в дефлированные почвы с содержанием 0.56% углерода. После 30 суток инкубации содержание углерода в контрольных почвах уменьшилось до 0.47%. А при компостировании почвы с добавлением зеленой и корневой масс донника, люцерны, рапса происходит существенное ее обогащение углеродом. Так, уже в течение 90 суток содержание общего

углерода в почве на вариантах с растительными добавками достоверно повысилось до 0.68-0.70% при 0.47% на контроле (табл. 1). Величина отношения Сгк:Сфк во всех опытных вариантах была выше единицы и составила 1.08-1.25, при средней ошибке – 0.02-0.08, а на контрольной почве – 0.92, то есть происходит возрастание ценных гуминовых кислот (ГК; табл. 1). В течение 90 суток деструкция РО, особенно зеленых масс, по большей части завершается. В последующие сроки содержание общего углерода во всех вариантах лишь с небольшими различиями держится на одном уровне, поэтому данные в последующие сроки опыта не приводятся. Но при этом следует заметить некоторую тенденцию увеличения количества Соб при внесении корневой массы донника, люцерны и рапса, которая наблюдается на 180 сутки, в то время как при внесении зеленой массы идет слабозаметное снижение от 1-го к 3-му сроку, вследствие окончания их деструкции. Это объясняется тем, что корни больше обогащены трудно разлагаемыми компонентами гемицеллюлозой и лигнином (табл. 2). Под воздействием растительных добавок в составе гумусовых веществ содержание ГК увеличивается, причем значительнее, чем количество ФК. Гумус приобретает фульватно-гуматный характер.

**Таблица 1.** Состав растительных добавок в компостировании почв, % на сухое вещество.

| Материал | C | $N_{общ.}$ | $N_{бел.}$ | Лигнин | Клетчатка | Геми-целлюлоза | Крахмал | Сахара | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | моно- | ди- |
| Зеленая масса люцерны | 52.7 | 2.89 | 1.73 | 16.1 | 23.9 | 7.8 | 8.9 | 2.0 | 1.2 |
| Корни люцерны | 49.2 | 2.22 | 1.14 | 18.6 | 24.7 | 11.3 | 27.9 | 3.3 | 7.7 |
| Зеленая масса донника | 55.8 | 2.43 | 1.45 | 13.7 | 31.9 | 8.8 | 10.8 | 1.7 | 1.3 |
| Корни донника | 48.7 | 1.11 | 0.74 | 17.9 | 43.4 | 10.5 | 13.9 | 1.3 | 0.9 |
| Зеленая масса рапса | 44.5 | 1.66 | 0.98 | 13.2 | 32.2 | 8.8 | 12.6 | 2.4 | 0.3 |
| Корни рапса | 26.7 | 0.78 | 0.19 | 25.2 | 47.8 | 13.9 | 17.6 | 1.3 | 0.4 |

**Таблица 2.** Фракции С гумуса после компостирования почвы с растительными добавками, % к $C_{общ.}$

| Вариант опыта | $C_{общ.}$,% | $C_{гк}$ | | | Сумма | $C_{фк}$ | | | | Сумма | $C_{гк}+C_{фк}$ | $C_{гк}/C_{фк}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | | 1а | 1 | 2 | 3 | | | |
| Почва до компостирования | 0.56 | 6.82 | 9.84 | 14.28 | 30.94 | 4.76 | 9.85 | 6.82 | 9.53 | 30.96 | 61.90 | 1.0 |
| После 90 суток компостирования | | | | | | | | | | | | |
| Контрольная почва | 0.47*<br>0.014** | 6.40<br>0.20 | 15.51<br>1.03 | 9.70<br>1.42 | 31.61<br>2.65 | 1.28<br>0.04 | 8.81<br>0.30 | 13.36<br>1.45 | 9.70<br>1.42 | 33.14<br>2.60 | 64.75<br>5.24 | 0.95<br>0.025 |
| Почва+зеленая масса донника | 0.70<br>0.014 | 6.42<br>0.34 | 11.27<br>0.44 | 12.15<br>0.26 | 29.84<br>0.47 | 2.86<br>0.06 | 11.08<br>0.43 | 2.20<br>0.34 | 8.21<br>0.28 | 24.35<br>0.21 | 54.19<br>0.39 | 1.23<br>0.02 |
| Почва+корни донника | 0.68<br>0.01 | 7.38<br>0.09 | 13.29<br>0.17 | 12.55<br>0.47 | 33.23<br>0.63 | 2.95<br>0.04 | 5.91<br>0.08 | 8.85<br>0.07 | 8.12<br>0.56 | 25.33<br>0.21 | 59.06<br>0.74 | 1.31<br>0.09 |
| Почва+зеленая масса люцерны | 0.70<br>0.02 | 6.08<br>0.38 | 14.65<br>0.22 | 11.25<br>0.45 | 31.97<br>0.70 | 2.86<br>0.67 | 6.80<br>0.40 | 8.94<br>0.41 | 8.79<br>0.13 | 27.39<br>0.49 | 59.36<br>1.14 | 1.16<br>0.03 |
| Почва+корни люцерны | 0.70<br>0.01 | 7.20<br>0.09 | 12.95<br>0.16 | 10.07<br>0.12 | 30.22<br>0.37 | 2.88<br>0.03 | 8.27<br>0.32 | 7.57<br>0.42 | 8.99<br>0.26 | 27.70<br>0.10 | 57.93<br>0.38 | 1.09<br>0.025 |
| Почва+корни рапса | 0.72<br>0.01 | 6.97<br>0.10 | 9.76<br>0.14 | 9.05<br>0.28 | 25.78<br>0.08 | 2.79<br>0.04 | 5.58<br>0.08 | 6.64<br>0.51 | 7.69<br>0.51 | 22.69<br>0.98 | 48.47<br>0.53 | 1.13<br>0.08 |

**Примечания к таблице 2: *** – над чертой приводится среднее значение при n=4 (M); ** – под чертой дается ошибка средней величины (±m).

Но по мере увеличения продолжительности опыта количество ГК имеет тенденцию к уменьшению. Содержание ФК продолжало увеличиваться ко 2-му сроку (вариант с надземной и корневой массами донника) и осталось без особых изменений (на варианте с люцерной и рапсом). За счет такого перераспределения углерода в составе гумусовых кислот изменяется и характер гумуса. Корни при разложении придают гумусу почвы устойчивый фульватно-гуматный характер, что объяснимо биохимическим составом корней. Из-за отсутствия больших изменений в течение 180 и 360 суток не приводятся данные по этим срокам инкубации.

При компостировании почвы с растительными добавками, исходно богатыми азотом, как и следовало ожидать, существенно повышалось содержание общего азота по отношению к контрольной почве: на 74% при внесении зеленых масс, на 55% – корней люцерны, на 31% – корней донника, на 26% – корней рапса (рис., табл. 3).

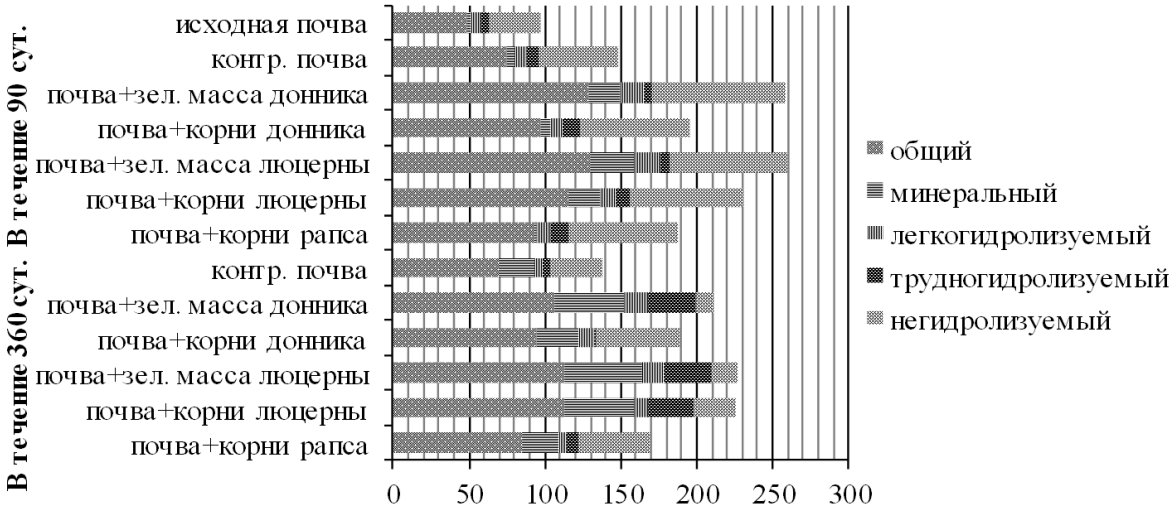



**Рис.** Формы азота в каштановых почвах при компостировании с растительными добавками, мг/100 г.

**Таблица 3.** Формы азота (N) в каштановых почвах при компостировании с растительными добавками, мг/100 г, при n=4.

| Вариант опыта | Общий N | Минеральный N | Легкогидролизуемый N | Трудногидролизуемый N | Негидролизуемый N |
|---|---|---|---|---|---|
| Исходная почва | 48.75±1.53 | 2.10±0.60 | 7.22±0.04 | 4.84±0.04 | 34.58±1.5 |
| После 90 суток компостирования | | | | | |
| Контрольная почва | 74.27±0.98 | 5.57±0.07 | 7.88±0.07 | 7.98±0.07 | 52.85±0.96 |
| Почва+зеленая масса донника | 128.87±2.60 | 21.25±0.08 | 15.66±0.13 | 4.13±0.09 | 87.85±2.6 |
| Почва+корни донника | 97.67±3.54 | 6.16±0.06 | 7.60±0.03 | 11.59±0.07 | 72.33±3.4 |
| Почва+зеленая масса люцерны | 129.64±2.72 | 29.57±0.06 | 16.35±0.05 | 6.09±0.01 | 77.39±2.8 |
| Почва+корни люцерны | 115.14±1.30 | 20.97±0.22 | 11.06±0.29 | 9.17±0.12 | 73.95±1.3 |
| Почва+корни рапса | 93.67±2.09 | 1.33±0.04 | 8.44±0.04 | 12.32±0,08 | 71.58±21 |
| После 360 суток компостирования | | | | | |
| Контрольная почва | 69.14±1.77 | 23.59±0.07 | 5.60±0.06 | 4.90±0.08 | 35.05±1.6 |
| Почва+зеленая масса донника | 105.68±1.68 | 45.89±0.07 | 15.79±0.07 | 31.57±0.17 | 12.44±1.6 |
| Почва+корни донника | 94.69±1.14 | 26.68±0.06 | 11.48±0.06 | 1.09±0.09 | 55.42±0.12 |
| Почва+зеленая масса люцерны | 113.12±2.39 | 50.58±0.03 | 15.05±0.09 | 31.29±0.12 | 16.21±2.3 |
| Почва+корни люцерны | 112.98±2.19 | 45.89±0.12 | 9.09±0.17 | 29.47±0.32 | 28.33±2.06 |
| Почва+корни рапса | 84.70±2.63 | 24.43±0.13 | 5.25±0.21 | 7.28±006 | 47.74±2.6 |

В течение 1-го срока количество общего азота во всех вариантах увеличивалось за счет преимущественного образования негидролизуемых соединений азота. По мере увеличения срока компостирования их содержание падает, то есть они трансформируются в гидролизуемые и минеральные формы. Также существенно возрастает количество минерального азота, в особенности к 360 суткам (рис.), это заметно на вариантах с зеленой массой донника и люцерны, но меньше – с корнями, особенно рапса. Динамика качественных изменений в азотном фонде контрольной почвы связана главным образом с активизацией минерализационных процессов самих гумусовых соединений почвы и негидролизуемых форм азота. Содержание трудногидролизуемых форм значительно возрастает при продолжительности инкубации до 360 суток на вариантах с зеленой массой донника, зеленой и корневой массами люцерны, по-видимому, еще продолжается их деструкция.

А в вариантах с корнями донника и рапса незаметна трансформация соединений азота из негидролизуемых в гидролизуемые вследствие того, что в них очень высоки трудноразлагаемые лигнин и гемицеллюлоза: 17.9% и 10.5%; 25.2% и 13.9% соответственно (табл. 2). В корнях люцерны их также много – 18.6% и 13.9%, однако в них, в отличие от донника и рапса, значительно больше как общего азота, так и белкового, поэтому отношение C:N близко к оптимальному, что улучшило процесс деструкции и трансформации этих добавок.

В целом результаты модельных опытов по разложению растительных остатков в оптимальном водно-температурном режиме показали, что они улучшают азотный режим и обогащают почву минеральными формами азота. При более длительных сроках компостирования (360 суток) при некотором снижении содержания общего азота в азотном фонде происходит перераспределение его форм в сторону увеличения содержания минерального азота только за счет трансформации негидролизуемых азотистых соединений в гидролизуемые и подвижные формы, особенно это заметно в вариантах с внесением люцерны и зеленой массы донника. Корни донника и рапса обогащают почву преимущественно негидролизуемыми формами азота, и повышение содержания минерального азота идет в основном за счет трансформации трудногидролизуемых соединений.

## Заключение

Таким образом, внесение в дефлированную каштановую почву растительных добавок в виде зеленой массы и корневых остатков люцерны, донника и рапса в оптимальном водно-температурном режиме показывает, что можно существенно повысить содержание углерода с тенденцией изменения характера гумуса в сторону гуматности, особенно в варианте с зелеными массами и значительно улучшить азотный режим, т.к. возрастает количество минерального азота. За счет вовлечения продуктов разложения растительных остатков в гумусовые вещества может стабилизироваться гумус, повыситься обеспеченность почвы минеральным азотом, и, следовательно, можно предупредить деградацию почв. Поскольку сухостепная зона в Забайкальском регионе наименее обеспечена осадками, которые составляют 205-230 мм и 70% которых выпадают в июле-августе, под этот срок необходимо запахивать сидеральные культуры.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

*Борисова Е.Е.* 2015.Применение сидератов в мире. Вестник Нижегородского Государственного инженерно-экономического университета. № 6. С. 24-33.

*Бузмаков В.В.* 1988. Зеленые удобрения // Химизация сельского хозяйства. № 6. С. 33-37.

*Гамзиков Г.П.* 2009. Агрохимические свойства сибирских почв и приемы их регулирования. В кн. Агрохимические свойства сибирских почв и приемы их регулирования // IV Сибирские агрохимические Прянишниковые чтения: материалы международной научно-просветительской конференции, 16-21 июля 2007 г., Иркутск. Новосибирск. С. 11-23.

*Гамзиков Г.П., Лопухин Т.П., Уланов А.К.* 2005. Эффективность систем удобрения в полевых севооборотах на каштановых почвах Забайкалья // Агрохимия. № 9. С. 24-30.

*Дедов А.А., Несмеянова М.А., Дедов А.В.* 2017. Влияние приемов биологизации земледелия и способов обработки почвы на содержание органического вещества в черноземе типичном и продуктивность севооборотов // Агрохимия. № 9. С. 25-32.

*Довбан К.И.* 1996. Коротко о сидератах // Земледелие. № 3. С. 45-46.

*Ермаков А.И., Арасимович В.В., Смирнова-Иконникова М.И., Мурри И.К.* 1952. Методы биохимического

исследования растений. М.-Л.: Госиздат сельскохозяйственной литературы. 515 с.

*Заикин В.П.* 1991. Возможность применения безотвальной обработки дерново-подзолистых и серых лесных почв // Проблемы повышения плодородия дерново-подзолистых почв и внедрение в производство интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культ. Йошкар-Ола. С. 62-65.

*Кирюшин В.И.* 2013. Проблема минимизации обработки почвы: перспективы развития и задачи исследований // Земледелие. № 7. С. 3-6.

*Когут Б.М.* 2012. Оценка содержания гумуса в пахотных почвах России // Почвоведение. № 9. С. 944-952.

*Лапухин Т.П., Уланов А.К.* 2010. Эффективность применения удобрений на каштановых почвах сухой степи Бурятии // Агрохимия. № 5. С. 29-33.

*Лошаков В.Г.* 1999. Система севооборотов – основа экологически чистого агроландшафта. Доклады ТСХА. Вып. 270. С. 237-247.

*Лошаков В.Г., Николаев В.А.* 1999. Влияние длительного применения пожнивного зеленого удобрения на агрофизические свойства дерново-подзолистой почвы. М.: ТСХА. Вып. 2. С. 29-40.

*Нарциссов В.П., Заикин В.П.* 1984. Биологическая система земледелия // Сельское хозяйство за рубежом. № 4. С. 2-5.

*Морковкин Г.Г., Демина И.В.* 2009. Интенсивность минерализации сидератов и изменение содержания гумуса в черноземах выщелоченных умеренно засушливой и колочной степи Алтайского края // Вестник Алтайского госуниверситета. № 1 (51). С. 12-16.

Тужилин В.М. 1995. Донник на сидерат в Нечерноземье // Земледелие. № 2. С. 8-9.

*Уланов А.К., Батудаев А.П.* 2008. Эффективность севооборотов в сухой степи Западного Забайкалья // Земледелие. № 5. С. 14-15.

*Уланов А.К., Будажапов Л.В., Билтуев А.С.* 2017. Динамика изменения содержания гумуса каштановой почвы Забайкалья в длительных опытах с основными приемами земледелия // Плодородие. № 2 (95). С. 42-45.

*Чекмарев П.А., Лукин С.В.* 2014. Итоги реализации программы биологизации земледелия в Белгородской области // Земледелие. № 8. С. 3-6.

*Чимитдоржиева Г.Д.* 2016. Органическое вещество холодных почв. Издательство БНЦ СО РАН. 388 с.

*Шевчук В.Е.* 1979. Бобовые культуры и почвенное плодородие. Иркутск: Восточносибирское книжное издательство. С. 66-81.

*Anon I.* 1986. Wie wird die Brache Grun // Lohnunternehmen in Land-Fort-Wirtsch. Bd. 43. No. 7. P. 350-351

*Morris R.A., Turos R.E., Diros M.A.* 1986. Rice Responses to Start Duration Green Manure // Grain Fiel Agrarian Journal. No. 3. P. 409-412.

*Morris R.A.* 1996. Organik farming Prospekt com-paned vvieth conceptional faring // Phosphonus in Agriculture. P. 36-82.

*Tine W.W., Blevins R.J.* 1999. Green manuring // Artlok on Agriculture. Vol. 13. No. 1. P. 20-33.

*АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2019, том 25, № 1 (78), с. 49-60*

**ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ**

*УДК 631.4*

# ПОЧВЕННО-АГРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СВЕТЛОЯРСКОГО ОРОШАЕМОГО УЧАСТКА В ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ[1]

**© 2019 г. И.Н. Горохова, Т.Н. Авдеева, Е.И. Панкова, К.О. Прокопьева**

*Почвенный институт им. В.В. Докучаева*
*Россия, 119017, г. Москва, Пыжевский пер., д. 7, стр. 2. E-mail: g-irina@rambler.ru*

Поступила в редакцию 18.04.2018. После доработки 25.05.2018. Принята к публикации 20.06.2018.

В статье анализируются агрохимические свойства гумусо-аккумулятивных горизонтов орошаемых почв ключевого участка, который расположен на территории Светлоярской оросительной системы в Волгоградской области. Было выявлено, что в результате планировки полей перед вводом в эксплуатацию оросительной системы и длительного периода орошения произошло перераспределение карбонатного материала и концентрация его в верхней части профиля почвы достигла величины 5-13%, что привело к образованию плотной корки на поверхности почв и участков изреживания (выпадов) на посевах люцерны. Эти участки хорошо фиксируются на материалах космической съемки. За более чем 45-летний период использования пахотных земель в условиях орошения произошло существенное снижение уровня их гумусированности относительно пахотных неорошаемых земель. Содержание гумуса в почвах ключевого участка составило в среднем 1.23% и приблизилось (согласно «Методическим указаниям …», 2003) к минимально допустимому уровню. Деградация почв обусловлена общим низким уровнем культуры земледелия и длительным использованием поверхностного способа полива участка. При этом содержание подвижного фосфора (20-102 мг/кг) и обменного калия (316-806 мг/кг) в почвах колебалось в широких пределах от среднего до очень высокого.

*Ключевые слова:* орошаемые почвы, агрохимическая характеристика почв, карбонаты.
**DOI: 10.24411/1993-3916-2019-00044**

В России значительная часть сельскохозяйственных угодий расположена в недостаточно увлажненных и засушливых районах, поэтому вопрос развития орошаемого земледелия здесь является актуальным. Многовековая практика земледелия свидетельствует о том, что при орошении урожайность сельскохозяйственных культур в 3-4 раза выше, чем без него (Приходько, 1996; Еременко и др., 2002). Однако в последние десятилетия под влиянием сложившихся социальных и экономических условий во многих регионах страны произошло сокращение площадей орошаемых земель, большинство из которых нуждается в мелиорации и обогащении питательными элементами. Наиболее уязвимым элементом орошаемого агроландшафта является почва, так как именно она подвержена максимальному воздействию внешних природно-климатических и антропогенных факторов. Недостаток агрохимических данных по орошаемым почвам не позволяет в полной мере определить проведение необходимых мероприятий.

Цель работы – изучить современное почвенно-агрохимическое состояние длительно орошаемого Светлоярского участка одноименной оросительной системы (ОС) в Волгоградской области с учетом влияния антропогенных факторов.

Аридные почвы часто содержат в поверхностном (пахотном) горизонте карбонат кальция и/или гипс. В «Руководстве по описанию почв» (2012) ФАО карбонатные почвы – это почвы, в которых присутствует некоторое количество карбонатов. Выделяется группа слабо карбонатных почв, содержащих от следовых количеств до 2% карбонатов, карбонатные – при аккумуляции карбоната кальция и/или магния до 15%, средне карбонатные – 15-25% и сильно карбонатные с содержанием более 25%. Отмечается, что карбонатные почвы создают множество проблем для

[1] Работа выполнена по тематике НИР Почвенного института им. В.В. Докучаева №0591-2016-0001.

сельскохозяйственного использования. Кальцисоли (calcisols; почвы с содержанием карбонатов более 15%) отличаются низким содержанием органического вещества и доступного азота. Высокие значения pH делают фосфат недоступным из-за образования нерастворимого фосфата кальция.

Причины поступления карбонатного материала в почвы бывают разными. Одни считают, что источниками карбоната и гипса в аридных почвах являются атмосферные выпадения в виде пыли или карбоната, растворенного в дождевой воде (Dohrenwend et al., 1991; Gustavson et al., 1991). Есть работы, где отмечается, что важную роль в формировании кальциевых (calcic) и гипсовых (gypsic) горизонтов могут играть биологические процессы, когда за счет минерализации мертвого растительного материала в почву вносится значительное количество карбонатов и гипса (Dregne, 1976). R.J. Amit и B.J. Harrison (1995) показали, что кальциевые горизонты почв Израиля тесно связаны с грибком Hypha. L.T. Kadry (1972) в своей работе говорит о широкой распространенности карбонатных почв в Ближневосточном регионе, подчеркивая, что основными проблемами рекультивации и землепользования в этих районах являются образование поверхностной корки, цементация горизонтов, низкая доступность фосфора, нарушение калиевого и магниевого питания растений в результате дисбаланса между этими элементами и кальцием, доступность микроэлементов, актуальны также проблемы водообеспеченности.

В статье J.C. Dixon (2017) дается характеристика почв, типичных для аридных условий, и отмечается, что прогрессивному увеличению концентрации карбонатов и гипса сопутствует уплотнение почв и формирование формирование слоистого карбонатного (petrocalcic) и гипсового (petrogypsic) горизонтов.

A. Ruellan (2017) пишет, что в Средиземноморских странах с засушливым климатом часто встречаются почвы со слоем аккумуляции карбоната кальция. Он отмечает две причины накопления кальция: 1) известковые породы или породы, богатые кальцием (базальты); 2) климат, не благоприятствующий глубокому выщелачиванию растворов из почв из-за частого чередования влажных и сухих периодов и продолжительности сухого периода.

Процесс ирригационного окарбоначивания в Северном Прикаспии был выявлен целым рядом отечественных авторов (Барановская, Азовцев, 1981; Сиземская, 2013), когда дополнительное увлажнение при поливах приводит к мобилизации кальцита почвообразующих пород и его подтягиванию в верхнюю часть почвенной толщи с почвенными растворами от грунтовых вод. Похожий процесс подтягивания карбонатов отмечался в пахотных почвах Волгоградской области (Любимова, 2002; Любимова, Дегтярева, 2000; Любимова, Новикова, 2016).

После анализа литературных источников встала задача провести собственную оценку причин и количества содержания карбонатов в почве, их влияния на агрохимическое состояние длительно орошаемых почв на примере исследований, проведенных на территории Волгоградской области.

## Объекты и методы исследования

В настоящей статье приводятся материалы полевых работ, которые проходили в июне-июле 2015-2016 годов в Волгоградской области на территории Светлоярской ОС (рис. 1).

Светлоярская ОС введена в эксплуатацию в 1960-1965 гг. Она включает несколько орошаемых массивов. Объектом нашего исследования стали орошаемые почвы на ключевом участке площадью 125 га, расположенном на самом северном (Светлоярском) орошаемом массиве Светлоярской ОС.

Водозабор для Светлоярской ОС происходит из р. Волги, вода которой отличается хорошими поливными качествами и широко используется для орошения, относится к слабоминерализованным (<1 г/л) и характеризуется гидрокарбонатно-кальциевым составом.

Согласно природному районированию (Доскач, 1979), ключевой участок находится в правобережной части Прикаспийской низменности, в районе Северной Сарпинской низменной равнины, где до орошения были сосредоточены ареалы природно-засоленных солонцовых почв. До строительства оросительной системы почвенный покров был представлен светло-каштановыми солонцовыми комплексами, доля солонцов в которых достигала 25-50% (Дегтярева, Жулидова, 1970).

В отличие от большей части района Северной Сарпинской низменной равнины у исследуемой территории лучше дренированность, более легкий состав почвообразующих пород (легкий и средний суглинок) и наличествуют песчаные линзы.

Мелиоративные мероприятия, выполненные при строительстве Светлоярской ОС, такие как

срезка повышений микро- и мезорельефа на глубину 30-70 см и подсыпка в понижения срезанного материала мощностью 20-30 см, гипсование солонцов, плантажная вспашка (40-45 см), последующая ежегодная вспашка (25-30 см), орошение в течение 50 лет, существенно изменили почвенный покров.

На ключевом участке за весь период орошения (более 45 лет) уровень грунтовых вод (УГВ) не поднимался выше 3 м, а в настоящее время составляет более 5 м.

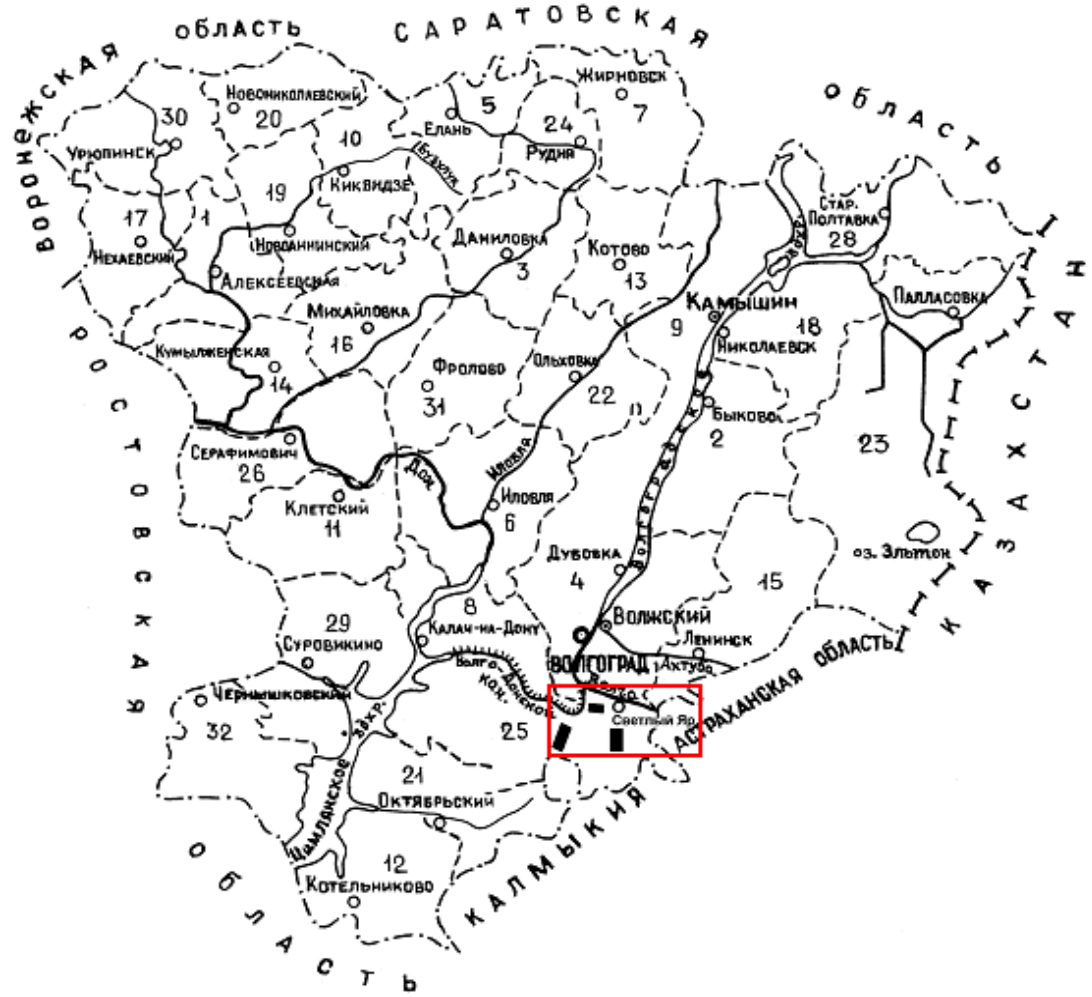



**Рис. 1.** Расположение Светлоярской оросительной системы на территории Волгоградской области.

Для изучения орошаемых почв привлекался снимок сверхвысокого разрешения Pleiades (0.5 м в панхроматическом режиме, 2 м в мультиспектральном режиме; конец мая 2015 г.) и снимок высокого разрешения Landsat-8 (15 м в панхроматическом режиме, 30 м в мультиспектральном режиме; июнь 2015 г.). Точки полевого обследования намечались по привязанному снимку Pleiades (детальность 0.5 м). На местности привязка осуществлялась с помощью GPS-приемника. Выбор точек определялся предварительным анализом изображения сельскохозяйственных культур на снимке, которое носило пятнистый характер. Точки закладывались на светлых пятнах открытой поверхности (убранной пшеницы), на пятнах с изреженными посевами люцерны и на посевах тех же культур в благополучном состоянии.

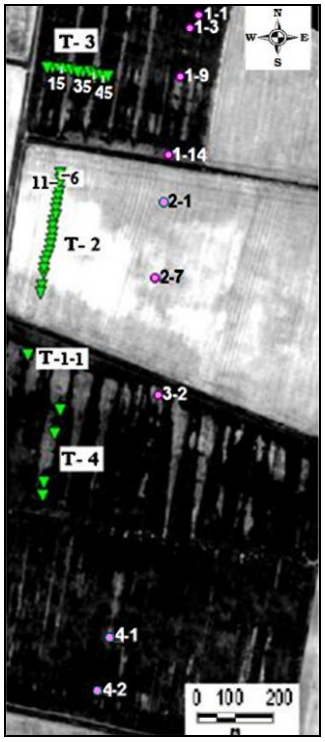
Исследования проводились по маршрутным схемам, трансектам (через каждые 15 м) и по случайно-регулярной сетке (рис. 2) с морфологическим описанием почв и лабораторным анализом почвенных образцов на содержание карбонатов по методу Ф.И. Козловского (Агрохимические …, 1975) и гумуса – по всему массиву; обменного калия и подвижного фосфора по методу Б.П. Мачигина (Агрохимические …, 1975), поглощенных оснований – по П. Пффеферу (Агрохимические …, 1975) – по трансекте Т-2.

Всего было отобрано 204 образца для определения содержания карбонатов и 90 образцов для

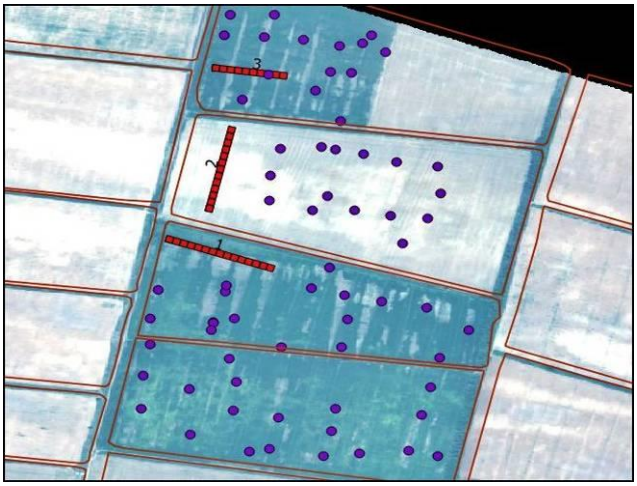
определения содержания гумуса в горизонте почв 0-20 см, 18 образцов на содержание обменного калия и подвижного фосфора.

**Результаты и обсуждения**

В процессе анализа дистанционной информации на территорию ключевого участка, были выделены крупные пятна изреживания (выпадов) на посевах люцерны и светлые пятна на полях с озимыми культурами. Встал вопрос о выяснении причины образования таких пятен.



а)



б)

**Рис. 2.** Карта полевых исследований (точек отбора образцов) в 2015-2016 гг. на Светлоярском орошаемом участке. *Условные обозначения:* 1-14, 2-7 и др. – точки опробования, Т-1, Т-2, Т-3, Т-4 – трансекты (а); расположение опробований (из верхних 20 см) по случайно-регулярной сетке и трансектам (б).

Люцерна – оптимальная культура для индикации состояния орошаемых почв по дистанционной информации, поскольку обладает определенными биологическими и агротехническими особенностями.

1) Люцерна – это многолетняя (до 7 лет) бобовая культура, которая выращивается на орошаемых землях обычно 3-4 года. Люцерну в условиях орошения высевают весной в начале апреля (под покров или без покрова различных культур) и летом после уборки ранних зерновых и кормовых культур. Однако в исследуемом районе из-за высоких летних температур были и остаются распространенными беспокровные посевы люцерны на сено и семена весной.

2) Люцерну на корм высевают преимущественно обычным рядовым способом, который создает равномерный по густоте травостой. Корневая (стержневая) система у нее достигает длины 2 м и более, но основная масса корней (60-70%) сосредоточена на глубине до 30 см (Еременко и др., 2002). Неблагоприятные для произрастания условия отражаются на густоте травостоя и вызывают разреженность культуры, которая хорошо фиксируется на снимках.

3) Культура относится к среднесолеустойчивым, однако по сравнению с другими кормовыми травами (кукуруза, суданка) крайне восприимчива к засолению и солонцеватости почв в фазе прорастания (Казакова, 2007). По данным экспериментальных исследований (Зайцева и др., 2009), авторы также относят люцерну в начальной фазе вегетации к группе менее солеустойчивых, чем пырей, овсяница, суданка.

4) Люцерна – типичный мезофит, не переносит близкого (1.5 м) стояния грунтовых вод, избыточного увлажнения и застоя воды, особенно в весенний период. Избыточное увлажнение почвы отрицательно влияет на продуктивность люцерны и вызывает изреживание посевов. При 10-15-дневном затоплении посевов весной талыми водами наблюдается массовая гибель растений

(Лактионов и др., 1982).

5) Высокая потребность люцерны в питании определяется прежде всего способностью давать высокие урожаи надземной массы с большим содержанием белка. Растения люцерны усваивают 65-75% азота из атмосферы, а остальную часть из почвы. Высокую потребность в фосфоре растения испытывают в начальные фазы роста. В условиях орошения внесение калийных удобрений требуется только на песчаных и супесчаных, бедных этим элементом почвах в количестве 30-60 кг/га. Важнейшее значение имеет внесение фосфорных удобрений. Недостаток фосфора является основной причиной опадания генеративных органов люцерны, преждевременного усыхания листьев и дегенерации оплодотворенных семяпочек. Фосфор очень важен для люцерны, он усиливает отрастание растений после укосов и стимулирует цветение (Шеуджен и др., 2007).

Таким образом, причины выпадов люцерны могут быть разными, поэтому необходимо выяснить, чем они вызваны на исследуемом ключевом участке.

Рассмотрим почвенно-агрохимические свойства целинных светло-каштановых почв, которые распространены в засушливых районах сухих степей, в ряду каштановых почв, представленных в таблице 1 (Агрохимия, 1984). По сравнению с темно-каштановыми и каштановыми почвами они характеризуются меньшей мощностью гумусового горизонта, более низким содержанием гумуса, общего азота и фосфора, щелочной реакцией среды ($pH_{сол.}$=7.4-8.0).

**Таблица 1**. Агрохимические свойства каштановых почв (Агрохимия, 1984).

| Подтип почвы | Мощность гумусового горизонта, см | Содержание гумуса, % | Общий N, % | Общий фосфор, % | pH солевой вытяжки | Сумма обменных катионов, мг-экв./100 г почвы |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Темно-каштановая | 35-45 | 4-5 | 0.2-0.3 | 0.1-0.2 | 7-7.2 | 30-35 |
| Каштановая | 30-40 | 3-4 | 0.15-0.20 | 1.1-0.2 | 7.2-7.5 | 20-13 |
| Светло-каштановая | 25-30 | 2-3 | 0.10-0.15 | 0.08-0.15 | 7.4-8 | 12-15 |

Светло-каштановые почвы, как правило, солонцеваты. Для них характерна различная степень засоления, но солевой горизонт обычно расположен на глубине 1 м и ниже. Из верхнего горизонта водорастворимые соли вымыты, их содержание (главным образом бикарбонатов Ca и Mg) небольшое (сотые доли %). В солевом горизонте из водорастворимых солей преобладают сульфаты и хлориды. Светло-каштановые почвы богаты калием, но часто имеют низкую обеспеченность подвижными формами азота и фосфора (Дегтярева, Жулидова, 1970). Однако эффективность минеральных удобрений на этих почвах из-за недостатка влаги обычно низкая. При орошении эффективность азотных и фосфорных удобрений резко повышается, но калийные удобрения малоэффективны. Для повышения плодородия солонцеватых почв и солонцов рекомендуется применение гипса.

Во время полевых исследований на ключевом участке было выявлено, что во всех почвах (кроме лугово-каштановых) наблюдается вскипание либо с поверхности, либо с глубины 15-25 см, а верхние 20-70 см характеризуются повышенным содержанием карбонатов, по сравнению с нижележащими горизонтами (70-100 см; табл. 2). В то же время в целинных условиях Северного Прикаспия глубина вскипания от HCl у светло-каштановых почв отмечается на глубине 33-42 см, морфологическое выделение карбонатов на глубине 41-53 см, а максимальное содержание карбонатов обычно концентрируется на глубине 40-70 см (Дегтярева, Жулидова, 1970; Сиземская, 2013; Фридланд, 1964). Отсюда следует, что карбонатный профиль орошаемых почв резко отличается от целинных почв поверхностью вскипания и расположением горизонта максимального скопления карбонатов в верхнем полуметре почвенного профиля.

Анализ данных лабораторных исследований почвенных образцов на содержание карбонатов в точках с изреженными посевами люцерны и со светлыми пятнами на полях с озимой пшеницей показал, что содержание карбонатов на глубине 0-20 см в среднем составляет 7.2%, и, согласно таблице 3, такие почвы относятся к группе средне карбонатных.

Причины поступления карбонатов в верхние слои почвы исследователи связывают прежде всего с планировкой поверхности полей, длительной распашкой и процессом ирригационного окарбоначивания (Барановская, Азовцев, 1981; Сиземская, 2013).

Используя полученные данные по содержанию карбонатов в точках отбора почвенных образцов, в программе Saga методом обратных расстояний мы построили карты распределения карбонатов в поверхностном слое почвы 0-20 см для территории ключевого участка (рис. 3).

**Таблица 2.** Содержание $CaCO_3$ в почвенных горизонтах Светлоярского орошаемого участка (2015 г.).

| **Название почвы в соответствии с общепринятыми классификациями (Классификация …, 1977, 2004)** | **№ точки отбора проб** | **Глубина горизонта, см** | **Содержание $CaCO_3$, %** |
|---|---|---|---|
| Агрозем аккумулятивно-карбонатный сегрегационный глубоко гипсосодержащий глубоко солончаковатый среднесуглинистый на среднехвалынских суглинках (Классификация …, 2004); светло-каштановая орошаемая карбонатная глубоко солончаковатая маломощная пахотная среднесуглинистая на среднехвалынских суглинках (Классификация …, 1977) | 1.3. | 0-25 | 0.8 |
| | | 25-40 | 6.8 |
| | | 40-70 | 10.0 |
| | | 70-100 | 7.6 |
| | | 106-117 | 5.8 |
| | | 120-130 | 8.6 |
| | | 133-150 | 7.6 |
| | | 150-160 | 5.8 |
| | | 170-190 | 8.0 |
| Агрозем аккумулятивно-карбонатный сегрегационный легкосуглинистый на среднехвалынских суглинках (Классификация …, 2004); светло-каштановая орошаемая карбонатная глубоко солончаковатая маломощная пахотная легкосуглинистая на среднехвалынских суглинках (Классификация …, 1977) | 2.7. | 0-20 | 8.0 |
| | | 20-50 | 18.6 |
| | | 50-60 | 8.0 |
| | | 60-90 | 3.8 |
| | | 110-120 | 6.0 |
| | | 120-150 | 9.6 |

**Таблица 3.** Статистические характеристики (при n=204) содержания карбонатов (в %).

| **Классы пятен** | **Среднее** | **Медиана** | **Стандартное отклонение** | **Минимум** | **Максимум** | **Ранг** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Крупные белые пятна на полях озимой пшеницы и пятна на полях с выпадами люцерны (***1***) | 7.15 | 7.11 | 3.19 | 0.31 | 13.4 | 13.09 |
| Поля без пятен и выпадов люцерны (***2***) | 3.21 | 2.43 | 2.30 | 0.02 | 11.05 | 11.03 |
| Мелкие темные пятна понижений | 1.00 | 1.01 | 0.06 | 0.94 | 1.09 | 0.15 |
| Крупные темные пятна понижений | 3.86 | 2.88 | 2.53 | 0 | 12.41 | 12.41 |

Метод обратных расстояний – это географическая интерполяция данных. Более полно он называется методом обратных взвешенных расстояний (IDW – Inverse Distance Weighting), который предполагает, что объекты, находящиеся поблизости, более схожи, чем объекты, удаленные друг от друга. При этом каждая точка пробоотбора оказывает «локальное влияние», которое уменьшается с увеличением расстояния.

На представленной карте прослеживаются следующие закономерности аккумуляции карбонатов

в поверхностных горизонтах почв, подвергшихся планировке: наибольшее содержание карбонатов (>5%) отмечено в почвах на бывших буграх в местах срезки солонцовых горизонтов (***1***); самым низким содержанием карбонатов (<2.5%) характеризуются преимущественно бывшие лугово-каштановые (темноцветные) почвы понижений (***2***) с подсыпкой горизонтов (табл. 3). На полях озимой пшеницы и на участках выпадов люцерны при содержании карбонатов более 5% образуются крупные светлые пятна. Так как поверхностно-карбонатные почвы отличаются плотностью и сухостью пахотного горизонта, то не все возделываемые культуры это переносят хорошо. Озимая пшеница на это не реагирует, а люцерна в таких местах образует значительные выпады площадью до 2-3 тыс. м$^2$. Следует также принять во внимание, что плотная корка у пахотного горизонта образуется при поверхностном способе полива, что наблюдалось на исследуемых полях с люцерной.

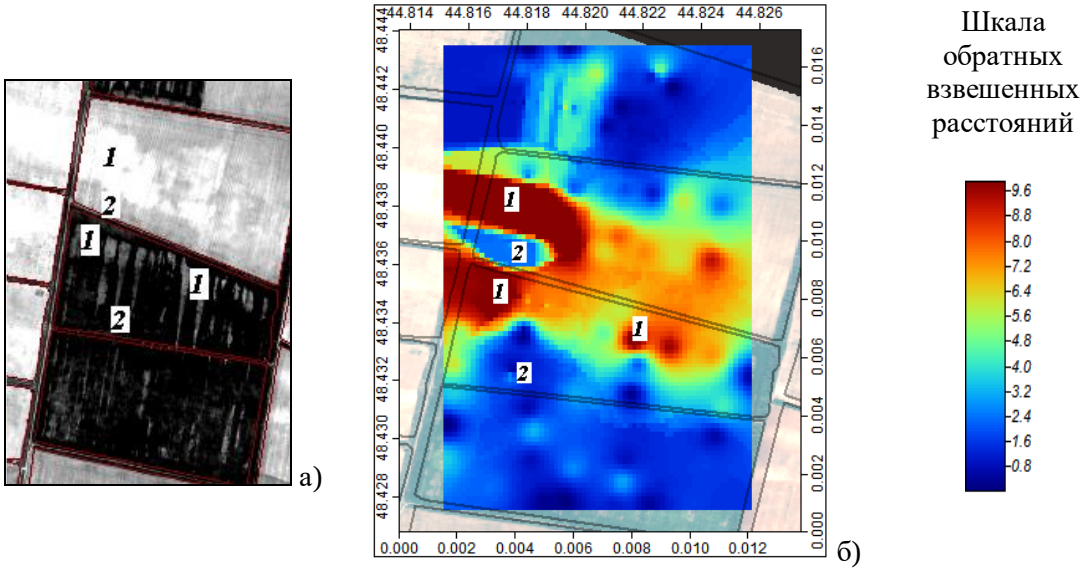



**Рис. 3**. Фрагмент снимка (а) высокого разрешения (Pleiades, панхроматический канал, детальность 0.5 м, 20.05.2015) на территории ключевого участка исследований, расположенного на Светлоярском орошаемом массиве, и интерполяционная карта (б) содержания $CaCO_3$ в % по методу Ф.И. Козловского (Агрохимические …, 1975) в поверхностном слое почв глубиной 0-20 см, построенная с помощью метода обратных расстояний, и легенда к ней. *Условные обозначения:* светлые поля – озимая пшеница; темные поля – люцерна, ***1*** – места наибольшего содержания карбонатов, ***2*** – места с низким содержанием карбонатов.

Для сопоставления степени состояния почв (по содержанию подвижного фосфора, обменного калия, установленных по методу Б.П. Мачигина (Агрохимические …, 1975), поглощенных оснований, определенных по методу П. Пфеффера (Агрохимические …, 1975), степени карбонатности, загипсованности и гумусированности в %; табл. 4), предложенной в «Методических указаниях …» (2003) и наших собственных исследованиях, проанализируем агрохимическое состояние длительно орошаемых почв по профилю 2Т исследуемого участка общей длиной 250 м, на котором описание почв и отбор образцов проводились через каждые 15 м (табл. 5).

Согласно таблице 4, почвы исследуемого профиля характеризуются слабой и средней степенью карбонатости с колебаниями от 0.88 до 10-13% $CO_2$. Содержание подвижного фосфора сохраняется в пределах от среднего до повышенного (20-102 мг/кг почвы), обменного калия – от повышенного до очень высокого уровня (316-806 мг/кг почвы). По уровню содержания гумуса исследуемые почвы легко- и среднесуглинистого гранулометрического состава относятся к слабо гумусированным. В среднем содержание его не превышает 1.23% и колеблется от низкого до высокого уровня.

Как отмечалось выше, повышенное содержание карбонатов в поверхностных горизонтах почв может оказывать неблагоприятное влияние на водно-физические свойства почв – за счет уплотнения горизонтов и образовании корки на поверхности. С другой стороны, высокое содержание карбонатов и высокая щелочность может способствовать образованию нерастворимого фосфата кальция и

недоступности фосфора, как питательного элемента для растений. Однако проведенные исследования показали, что на изучаемом объекте карбонатность поверхностных (пахотных) горизонтов почв определяет ухудшение именно водно-физических свойств за счет образования корки и на количество подвижного фосфора в почве, как питательного элемента, влияния не оказывает.

Следует отметить, что практически все оцениваемые нами показатели свойств почв характеризуются значительной изменчивостью, коэффициент вариации составляет 22-50% (табл. 5), что свидетельствует о неоднородности значений признака. Установлено, что эмпирические кривые распределения всех 7 изучаемых признаков значительно отличаются от нормального распределения. Для таких показателей, как мощность горизонта А1, содержание гумуса, фосфора и калия, характерны положительная асимметрия и эксцесс, а для pH и содержания карбонат-ионов – отрицательная асимметрия и положительный эксцесс. Возможными причинами ассиметричных распределений являются малый объем выборки и диспропорция в количестве составляющих ее почвенных разностей (табл. 5).

**Таблица 4.** Группировка почв по содержанию подвижного фосфора и обменного калия (в мг/кг), поглощенных оснований (в мг-экв./100 г. почвы), степени карбонатности, загипсованности и гумусированности (в %).

| Элемент | Градации по содержанию | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Очень низкое (слабо)** | **Низкое (слабо)** | **Среднее (средне)** | **Повышенное** | **Высокое (сильно)** | **Очень высокое (сильно)** |
| $P_2O_5$ | <10 | 11-15 | 16-30 | 31-45 | 46-60 | >60 |
| $K_2O$ | <100 | 101-200 | 201-300 | 301-400 | 401-600 | >600 |
| $Ca^{2+}$обм. | <2.5 | 2.6-5.0 | 5.1-10.0 | 10.1-15.0 | 15.1-20.0 | >20.0 |
| $Mg^{2+}$обм. | <0.5 | 0.6-1.0 | 1.1-2.0 | 2.1-3.0 | 3.1-4.0 | >4.0 |
| Сумма поглощенных оснований | <5.0 | 5.1-10.0 | 10.1-15.0 | 15.1-20.0 | 20.1-30.0 | >30.0 |
| Гипс | – | <10 | 10-20 | – | 20-30 | >40 |
| Карбонаты: $CO_2$<br>$CO_3^{2-}$ | 0.22-2.2<br>0.5- 5.0 | 2.2-4.4<br>5.0-10.0 | 4.4-13.2<br>10.0-30.0 | (очень) 13.2-22.0<br>30.0-50.0 | (в высшей степени) 22.0-30.8<br>50.0-70.0 | (карбонатная порода) >30.8<br>>70.0 |
| Гумус, почвы светло-каштановые ЦЧО, СКР | | Меньше минимального | Слабо-гумусированные | Средне-гумусированные | Сильно-гумусированные | – |
| I-легкие | | <0.3-0.8 | 0.8-1.5 | 1.5-2.3 | >2.3 | – |
| II-тяжелые | | <0.4-1.0 | 1.0-1.7 | 1.7-2.5 | >2.5 | – |

Для разделения рассматриваемой совокупности объектов на однородные группы (почвенные разности) и перехода от исходного массива данных к существенно меньшему количеству показателей, отобранных из числа исходных, мы использовали инструментарий многомерного статистического анализа – метод главных компонент (МГК). Результаты анализа представлены в таблице 6 и на рисунке 4. По значениям элементов первых двух собственных векторов, определяющих соответственно 49 и 26% общей дисперсии, найдены главные компоненты. По первой главной компоненте основным разделяющим показателем оказалось содержание гумуса, его влияние противоположно по направлению влиянию карбонатов и pH. По второй главной компоненте основной разделяющий показатель – мощность пахотного горизонта, влиянию которого противоположно по направлению содержанию подвижного фосфора и, в меньшей степени, обменного калия. Как показано на рисунке 4, весь массив данных в координатах этих компонент

разделился на две группы. В первую, наиболее компактную группу, вошли 8 точек, приуроченных к светло-каштановым почвам, и 2 точки, приуроченные к бывшим солонцам. Во вторую, менее компактную, вошли 4 точки, характеризующие лугово-каштановые почвы, 2 точки – светло-каштановые и 1 точка – солонцы.

Таким образом, дифференциация почв светло-каштановых солонцовых комплексов определяется основными показателями карбонатов и pH водной вытяжки, имеющими тесную корреляционную связь (r=0.71-0.98), а также с содержанием гумуса. Агрохимические показатели оказывают меньшее влияние на дифференциацию исследуемых почв.

**Таблица 5.** Физико-химические и агрохимические свойства пахотных горизонтов исследуемых почв Светлоярского района Волгоградской области, ключевой участок, трансекта 2Т, 2016 г.

| № разреза | Тип почв до орошения (полевое обследование) | Глубина горизонта, см | Гумус, % | pH воды | Обменные основания мг-экв./100 г почвы | | | Карбонаты, % | | Подвижный фосфор и обменный калий, мг/кг | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Na^{+}$ | $CO_2$ | $CaCO_3$ | $P_2O_5$ | $K_2O$ |
| Т-2-1 | лугово-каштановая | 0-34 | 1.24 | 8.53 | Н.о. | Н.о. | Н.о. | 1.41 | 3.20 | 25 | 375 |
| Т-2-6 | | 0-26 | 1.14 | 8.46 | Н.о. | Н.о. | Н.о. | 1.06 | 2.41 | 20 | 316 |
| Т-2-11 | | 0-26 | 2.27 | 8.49 | Н.о. | Н.о. | Н.о. | 0.88 | 5.16 | 85 | 806 |
| Т-2-16 | светло-каштановая | 0-22 | 1.55 | 8.50 | Н.о. | Н.о. | Н.о. | 1.94 | 4.41 | 102 | 924 |
| Т-2-20 | | 0-22 | 0.93 | 8.79 | Н.о. | Н.о. | Н.о. | 5.02 | 11.42 | 58 | 442 |
| Т-2-30 | | 0-25 | 0.72 | 8.72 | Н.о. | Н.о. | Н.о. | 5.90 | 13.41 | 64 | 483 |
| Т-2-40 | солонец | 0-20 | 1.03 | 8.82 | 11.19 | 1.90 | 0.13 | 4.66 | 10.60 | 41 | 357 |
| Т-2-45 | светло-каштановая | 0-20 | 1.03 | 8.70 | 10.32 | 1.83 | 0.14 | 5.10 | 11.60 | 60 | 690 |
| Т-2-50 | | 0-20 | 0.41 | 8.71 | 10.87 | 1.86 | 0.16 | 4.93 | 11.21 | 30 | 319 |
| Т-2-55 | | 0-20 | 1.03 | 8.74 | 11.43 | 2.08 | 0.19 | 5.46 | 12.42 | 44 | 390 |
| Т-2-60 | | 0-30 | 1.03 | 8.62 | Н.о. | Н.о. | Н.о. | 5.28 | 12.00 | 52 | 476 |
| Т-2-65 | | 0-30 | 1.14 | 8.70 | Н.о. | Н.о. | Н.о. | 5.19 | 11.80 | 40 | 414 |
| Т-2-70 | солонец | 0-30 | 0.93 | 8.75 | 11.79 | 2.32 | 0.18 | 4.75 | 10.80 | 56 | 380 |
| Т-2-75 | светло-каштановая | 0-20 | 1.34 | 8.83 | Н.о. | Н.о. | Н.о. | 4.75 | 10.80 | 42 | 355 |
| Т-2-80 | | 0-20 | 1.86 | 8.75 | Н.о. | Н.о. | Н.о. | 4.49 | 10.21 | 50 | 366 |
| Т-2-85 | | 0-30 | 1.45 | 8.54 | Н.о. | Н.о. | Н.о. | 2.20 | 5.00 | 49 | 423 |
| Т-2-95 | солонец | 0-20 | 1.45 | 8.54 | 11.90 | 1.07 | 0.10 | 0.88 | 2.00 | 45 | 602 |
| 2Т100 | лугово-каштановая | 0-20 | 1.55 | 8.76 | Н.о. | Н.о. | Н.о. | 2.11 | 4.80 | 54 | 592 |
| Статистические характеристики | | | | | | | | | | | |
| Среднее (n=18) | | 24.2 | 1.23 | 8.66 | Н.о. | Н.о. | Н.о. | 3.67 | 8.51 | 51 | 484 |
| Стандартное отклонение | | 4.780 | 0.426 | 0.129 | Н.о. | Н.о. | Н.о. | 1.841 | 3.388 | 19.65 | 173.1 |
| Дисперсия | | 22.85 | 0.181 | 0.017 | Н.о. | Н.о. | Н.о. | 3.388 | 15.69 | 385.9 | 29970 |
| Медиана | | 22 | 1.14 | 8.70 | Н.о. | Н.о. | Н.о. | 4.70 | 10.70 | 50 | 418 |
| Коэффициент вариации | | 22 | 35 | 1.5 | Н.о. | Н.о. | Н.о. | 50 | 46 | 38 | 36 |
| Диапазон | | 22-34 | 0.41-2.27 | 8.46-8.83 | 10.32-11.90 | 1.07-2.32 | 0.10-0.19 | 0.88-5.90 | 5.16-13.41 | 20-102 | 316-806 |

**Примечание к таблице 5:** Н.о. – показатель не определялся.

**Таблица 6.** Доли влияния первых трех главных компонент в варьировании комплекса показателей свойств почв и вклад этих показателей в главные компоненты (по МГК).

| Компонента | Собственное число | Сумма чисел, % | Показатели и их собственные векторы | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Мощность горизонта $A_{пах.}$, см | Гумус, % | pH водный | Карбонаты, % $CaCO_3$ | $P_2O_5$, мг/кг | $K_2O$, мг/кг |
| 1 | 3.43314 | 49.04 | 0.1030 | 0.4016 | -0.4245 | -0.4919 | 0.2283 | 0.3678 |
| 2 | 1.83848 | 75.31 | 0.4281 | -0.1762 | -0.2619 | -0.2183 | -0.6057 | -0.4820 |
| 3 | 0.92779 | 88.56 | -0.3672 | -0.2024 | -0.2711 | 0.2533 | 0.3467 | 0.1879 |

Если рассматривать агрохимические свойства по типам почв, слагающих светло-каштановые солонцовые комплексы, то они наиболее благоприятны у лугово-каштановых почв, которые имеют оптимальное содержание гумуса (1.55%), повышенное содержание подвижного фосфора (46 мг/кг) и высокое содержание обменного калия (522 мг/кг). В светло-каштановых почвах и солонцах содержание гумуса приближается к минимально допустимому уровню (1.14%) на фоне высокой обеспеченности почв подвижным фосфором (46-47 мг/кг) и обменным калием (446-480 мг/кг). В научной литературе и практике сельского хозяйства содержания подвижного фосфора и обменного калия в почвах служат лучшими показателями степени обеспеченности почв усвояемыми формами питательных элементов для растений.

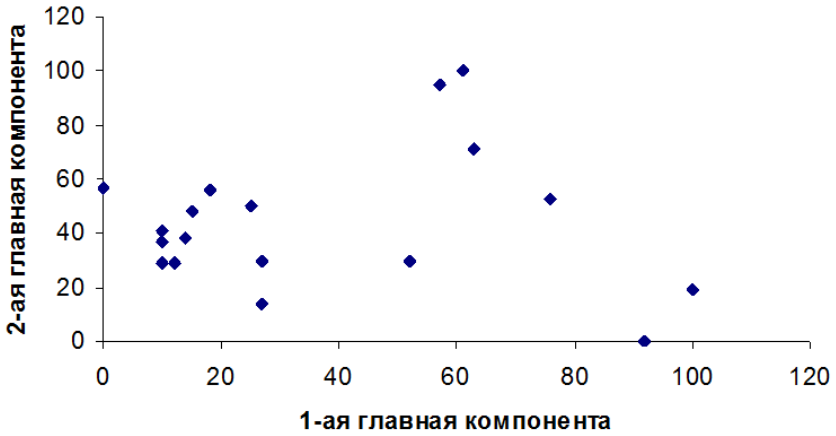



**Рис. 4.** Расположение 18 точек отбора образцов в координатах первых двух главных компонент (по комплексу почвенных показателей).

Исследования, проведенные по трансекте Т-2, позволяют сделать вывод об относительно благополучном агрохимическом состоянии длительно орошаемых почв светло-каштанового солонцового комплекса. Для сохранения современного уровня плодородия и предотвращения деградации почв необходима оптимизация их гумусного состояния. Этот вывод подтверждается и нашими данными по динамике содержания гумуса в образцах почв, отобранных по случайно-регулярной сетке с площади 125 га. В 2017 г. в пахотном горизонте почв Светлоярского орошаемого участка содержание гумуса составило в среднем 1. 3 %, что значительно ниже его содержания по сравнению с почвами богары. Согласно исследованиям В.Е. Приходько (1996), в почвах оросительных систем Волгоградской области запасы гумуса в пахотных горизонтах за 20 лет наблюдений сократились на 5-10% в каштановых почвах и солонцах и на 10-25% в лугово-каштановых почвах по сравнению с почвами близлежащих неорошаемых участков на богаре. Изменение гумусного состояния орошаемых почв определяется культурой земледелия, способом и сроком поливов, режимом и свойствами почв. Светлоярский участок характеризуется длительным периодом орошения (более 45 лет), низкой культурой земледелия (отсутствием севооборотов) и

использованием поверхностного способа полива по полосам, что, видимо, является основной причиной снижения количества гумуса. Гидрогеологический режим благоприятный (УГВ>5 м).

**Выводы**

По исследованиям агрохимического состояния ключевого участка площадью 125 га, которые проводились в период 2015-2016 гг. на территории Светлоярского массива Светлоярской оросительной системы Волгоградской области с привлечением дистанционных материалов и результатов полевых и лабораторных аналитических данных были сделаны некоторые выводы.

1. Длительное орошение (более 45 лет), планировка и распашка территории привели к существенным изменениям в орошаемых почвах прежде всего в профильном перераспределении карбонатного материала. Во всех почвах (кроме лугово-каштановых) наблюдается вскипание либо с поверхности, либо с глубины 15-25 см, а верхние 20-70 см характеризуются повышенным содержанием карбонатов (5-13%) по сравнению с нижележащими горизонтами, что соответствует слабой и средней степени карбонатности.

2. На полях с люцерной при содержании карбонатов 4-5% и более образуются крупные пятна разреженных посевов площадью до 2-3 тыс. м$^2$, т.к. поверхностно-карбонатные почвы отличаются повышенной плотностью и сухостью пахотного горизонта. Такие пятна хорошо фиксируются на дистанционных материалах. Озимая пшеница более устойчива к указанным неблагоприятным свойствам почв.

3. В орошаемых почвах ни по одному агрохимическому показателю (подвижный фосфор и обменный калий) существенного снижения содержания питательных элементов не наблюдается, оно находится в пределах среднего и повышенного уровня.

4. Содержание гумуса в орошаемых светло-каштановых почвах и бывших солонцах невысокое (1.23%) и приближается к минимально допустимому уровню. Оптимальный уровень гумусированности сохраняется только в лугово-каштановых почвах (1.55%). Потери гумуса обусловлены несколькими причинами: низкой культурой земледелия, длительным периодом орошения и поверхностным способом полива на полях с люцерной.

Таким образом, установлено, что изреженность посевов и выпады люцерны не связаны с недостатком питательных веществ в почве, а вызваны ухудшением физических свойств почв из-за повышенного содержания карбонатного материала в гумусовом горизонте и использования поверхностного способа полива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Агрохимические методы исследования почв. 1975. 5-е изд. М.: Наука. 656 с.

Агрохимия. 1984. 2-е изд., перераб. и доп. / Ред. П.М. Смирнов, Э.А. Муравин. М.: Колос. 304 с.

*Барановская В.А., Азовцев В.И.* 1981. Влияние орошения на миграцию карбонатов в почвах Поволжья // Почвоведение. № 10. С. 17-27.

*Дегтярева Е.Т., Жулидова А.И.* 1970. Почвы Волгоградской области. Волгоград: Нижневолжское издательство. 319 с.

*Доскач А.Г.* 1979. Природное районирование Прикаспийской полупустыни. М.: Наука. 142 с.

*Еременко В.П., Шевченко П.Д., Маслов А.Н.* 2002. Орошаемое земледелие Юга России. Ростов-на-Дону. 447 с.

*Зайцева Р.И., Желнакова Л.И., Никитина Н.С.* 2009. Характеристика солеустойчивости кормовых культур в начальной фазе вегетации при засолении чернозема хлорида натрием // Бюллетень почвенного института им. В.В. Докучаева. Вып. 63. М.: РАСХН. С. 25-40.

*Казакова Л.А.* 2007. Комплексная мелиорация орошаемых солонцовых и засоленных почв Нижнего Поволжья // Автореф. дисс. … док. с-х-н. Волгоград. 47 с.

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

Классификация и диагностика почв СССР. 1977. М.: Колос. 223 с.

*Лактионов Б.И., Андрусенко И.И., Барыльник В.Т.* 1982. Люцерна на юге Украины. Симферополь: Таврия. 64 с.

*Любимова И.Н.* 2002. Агрогенная эволюция почв солонцовых комплексов сухостепной зоны // Почвоведение. № 7. С. 892-903. [*Lyubimova I.N.* 2002. Agrogenic Evolution of Soils in the Solonetzic Complexes of the Dry Steppe Zone // Eurasian Soil Science. Vol. 35. No. 7. P. 792-802.]

*Любимова И.Н., Дегтярева Е.Т.* 2000. Изменение карбонатного профиля почв солонцовых комплексов при агрогенном воздействии // Почвоведение. № 7. С. 855-860.[ *Lyubimova I.N., Degtyareva E.T.* 2000. Changes in the Carbonate Distribution in the Soils of Solonetzic Complexes at Agrogenic Impact // Eurasian Soil Science. Vol. 33. No. 7. P. 746-751.]

*Любимова И.Н., Новикова А.Ф.* 2016. Влияние различных антропогенных воздействий на изменение почв солонцовых комплексов сухостепной зоны // Почвоведение. № 5. С. 633-643. [*Lyubimova I.N., Novikova A.F.* 2016. Changes in the Properties of Solonetzic Soil Complexes in the Dry Steppe Zone under Anthropogenic Impacts // Eurasian Soil Science. Vol. 49. No. 5. P. 581-590.]

Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия земель сельскохозяйственного назначения. 2003. М.:ФГНУ «Росинформагротех». 240 с.

*Панкова Е.И., Новикова А.Ф.* 2004. Мелиоративное состояние и вторичное засоление орошаемых земель Волгоградской области // Почвоведение. № 6. С. 731-744.[*Pankova E.I., Novikova A.F.* 2004. Ameliorative Status and Secondary Salinization of Irrigated Soils in Volgograd Oblast // Eurasian Soil Science. Vol. 37. No. 6. P. 634-645.]

*Приходько В.Е.* Орошаемые степные почвы: функционирование, экология, продуктивность. М.: Интеллект. 1996. 179 с.

Руководство по описанию почв. 2012. Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединенных наций. Рим: ФАО. 101 с.

*Сиземская М.Л.* 2013. Современная природно-антропогенная трансформация почв полупустыни Северного Прикаспия. М.: Товарищество научных изданий КМК. 276 с.

*Фридланд В.М.* 1964. Светло-каштановые почвы // Почвы комплексной равнины Северного Прикаспия и их мелиоративная характеристика. М.: Наука. С. 22-59.

*Шеуджен А.Х., Онищенко Л.М., Хурум Х.Д.* 2007. Люцерна / Ред. А.Х. Шеуджен. Майкоп: ОАО «Полиграфиздат», Адыгея. 206 с.

*Amit R.J., Harrison B.J.* 1995. Biogenic Calcite Horizon Development under Extremely Arid Conditions. Nizzana Sand Dunes, Israel // Advances in Geoecology. No. 28. P. 65-88.

*Dixon J.C.* 2017. Aridic Soils, Patterned Ground, and Desert Pavements. [Электронный ресурс https://www.researchgate.net /publication/225222373_Aridic_Soils_Patterned_Ground_and_Desert_Pavements (дата обращения 9.04.2017)].

*Dohrenwend J.C., Bull W.B., Mc Fadden L.D., Smith G.I.* 1991. Quaternary Geology of the Basinand Range Province in California. In: Quaternary Non-Glacial Geology: Conterminous United States // Geology of North America / Ed. R.B. Morrison. Vol. K-2. Boulder, CO: Geological Society of America. P. 321-352.

*Dregne H.E.* 1976. Soils of Arid Regions. Amsterdam: Elsevier. Vol. 6. 236 p.

*Gustavson T.C., Baumgardner R.W, Caran S.C., Holliday V.T.* 1991. Quaternary Geology of the Southern Great Plains and an Adjacent Segment of the Rolling Plains. In: Quaternary Non-Glacial Geology: Conterminous United States // Geology of North America / Ed. R.B. Morrison. Vol. K-2. Boulder, CO: Geological Society of America. P. 477-501.

IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps. World Soil Resources Reports No. 106. Rome: FAO. 192 p.

*Kadry L.T.* 1972. Distribution of Calcareous Soils in the Near East Region, their Reclamation and Land Use Measures and Achievements // FAO/UNDP Regional Seminar on Reclamation and Management of Calcareous Soils. [Электронный ресурс http://www.fao.org/docrep/x5869e/x5869e04.htm#TopOfPage (дата обращения 9.04.2017)].

*Ruellan A.* 2017. Morphology and Distribution of Calcareous Soils in the Mediterranean and Desert Regions. [Электронный ресурс http://www.fao.org/docrep/x5868e/x5868e03.htm#1.%20Morphology%20and%20 Distribution%20of%20Calcareous%20Soils%20in%20the%20Mediterranean%20and%20Desert%20Regions (дата обращения 10.04.2017)].

*АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2019, том 25, № 1 (78), с. 61-68*

**ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ**

*УДК581.6+631.6*

# ПРОДУКЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ВОССТАНОВЛЕННЫХ ПАСТБИЩ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПРИКАСПИЯ

**© 2019 г. Л.П. Радочинская*, А.К. Кладиев*, Л.П. Рыбашлыкова****

**Калмыцкая научно-исследовательская агролесомелиоративная опытная станция*
*Россия, 358000, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. Маяковского, д. 63. E-mail: kalmniaglos@mail.ru*
***Федеральный научный центр агроэкологии,*
*комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН*
*Россия, 400062, г. Волгоград, Университетский просп., д. 97. E-mail: ludda4ka@mail.ru*

Поступила в редакцию 24.04.2018. После доработки 25.05.2018. Принята к публикации 25.06.2018.

Статья посвящена анализу растительного покрова восстановленных пастбищ Северо-Западного Прикаспия спустя 30 лет после лесофитомелиорации. Проанализировано распределение и продуктивность пастбищной флоры по эколого-морфологическим областям бывшего очага опустынивания. Проанализированы результаты эколого-мелиоративного эксперимента 80-х годов прошлого века с использованием авиации при создании защитных пескозадерживающих кулис кияка.

*Ключевые слова*: Черные земли, пастбище, флора, очаги дефляции, фитомелиорация, биоразнообразие, растительность, продуктивность.
**DOI: 10.24411/1993-3916-2019-00045**

Масштабы антропогенного воздействия на пастбищные экосистемы Северо-Западного Прикаспия после снижения в 90-е годы прошлого века вновь усилились в последние десятилетия и требуют все большего внимания к проблеме сохранения и восстановления природного биоразнообразия, почвенного плодородия и биоресурсов (Настинова и др., 2010). Процессы деградации агроландшафтов приводят к нарушению стабильности и деструкции природных экосистем, что в ближайшем будущем может вновь нарушить хрупкое экологическое равновесие в регионе (Кулик и др., 2008). На территории Северо-Западного Прикаспия основным видом хозяйственной деятельности по-прежнему остается пастбищное животноводство, где в последние годы отмечается превышение допустимых норм нагрузки на пастбища, в том числе и лесопастбища, созданные в крупных очагах опустынивания, более чем в 2.5 раза (Сератирова, Бананова, 2016). Анализ состояния пастбищ и лесопастбищ, созданных 30 и более лет назад на Черных землях, выявил участки, которые сохранили свое назначение, ярусность и структуру, и способны функционировать в будущем, являясь оазисами биоразнообразия флоры и фауны.

Проведенные исследования имели целью оценить продукционный потенциал растительного покрова по эколого-морфологическим областям в крупном «потухшем» очаге дефляции на примере урочища «Аэросев» с точки зрения поедаемости и устойчивости к антропогенным воздействиям.

## Материалы и методы

*Район исследований*. Северо-Западный Прикаспий (рис. 1) – первичная морская равнина. По мере отступания моря вблизи его границ формировались огромные веерные дельты Волги и ее рукавов. На песчаных отложениях с деградированным растительным покровом главную рельефообразующую роль играет дефляция, формирующая крупные массивы подвижных песков (Яомин, 2009).

Климат региона резко континентальный: лето очень сухое и жаркое, зима бесснежная. Сумма осадков за год составляет 180-250 мм. В течение года выражено преобладание весенних и раннелетних осадков. Относительная влажность воздуха в летний период 28%. Самый жаркий месяц – июль, средняя температура составляет 24.5°С, самый холодный – январь. Абсолютный максимум температуры воздуха достигает в июле +45°С, абсолютный минимум -40°С. Преобладают восточные, юго-восточные, реже западные ветры. В марте-апреле, когда поверхность почвы еще не

достаточно защищена развивающейся растительностью, увеличивается количество дней со скоростью ветра 15 м/сек и более, который является причиной суховеев и пыльных бурь, наиболее активной формы ветровой эрозии песчаных почв (Агроклиматические ресурсы …, 1974). Район находится в среднеаридной зоне с нормализованным индексом аридности NIA=0.5-0.7 (Виноградов и др., 1995).

**Рис. 1.** Обзорная карта Северо-Западного Прикаспия.

Растительный покров представлен пустынными степями. На плакорных участках пологохолмистой песчаной равнины распространены ковыльные ассоциации *Stipa capillata* с участием *Artemisia lerchiana*, *Kochia prostrata*, *Agropyron fragile*, степного разнотравья, эфемеров и однолетников (Яомин, 2008). Современное состояние и развитие природных экосистем региона отражено в ряде работ (Воронина, 1994; Трофимов, 1995; Неронов, 2006; Федорова, 2011).

Материалом настоящей статьи стали полевые исследования, проведенные в крупном «потухшем» очаге дефляции, где в 1988-1989 годы выполнены фито- и лесомелиоративные работы по восстановлению разрушенных пастбищ с применением авиации для создания на первом этапе защитных полос из кияка (*Leymus racemosus*).

Опытный участок был заложен в 20 км к северу-востоку от поселка Адык с координатами 45.8° с.ш., 45.6° в.д. на низменности до 13 м н.у.м. БС. Административно участок расположен в Черноземельском районе Республики Калмыкия.

На участке 850 га в барханной области очага опустынивания (площадью 2 тыс. га) проводился аэросев кияка по лентам плужных борозд, способствовавшим остановке пескопереноса. После стабилизации рельефа, между лентами кияка высаживался терескен (*Krascheninnikovia ceratoides*) при помощи посадочной машины для бугристых песков (МПП-1). По мезопонижениям барханной области очага создавался древесный ярус из вяза (*Ulmus pumila*), робинии (*Robinia pseudoacacia*), ясеня (*Fraxinus pennsylvanica*), тополя (*Populus canadensis*; Манаенков, 2014; Радочинская, Кладиев, 2017). Эксперимент по фитолесомелиорации, итогом которого стало создание продуктивного пастбища с древесно-кустарниковым ярусом, проводил А.С. Манаенков совместно с Калмыцкой научно-исследовательской агролесомелиоративной опытной станцией и Комсомольской лугомелиоративной станцией.

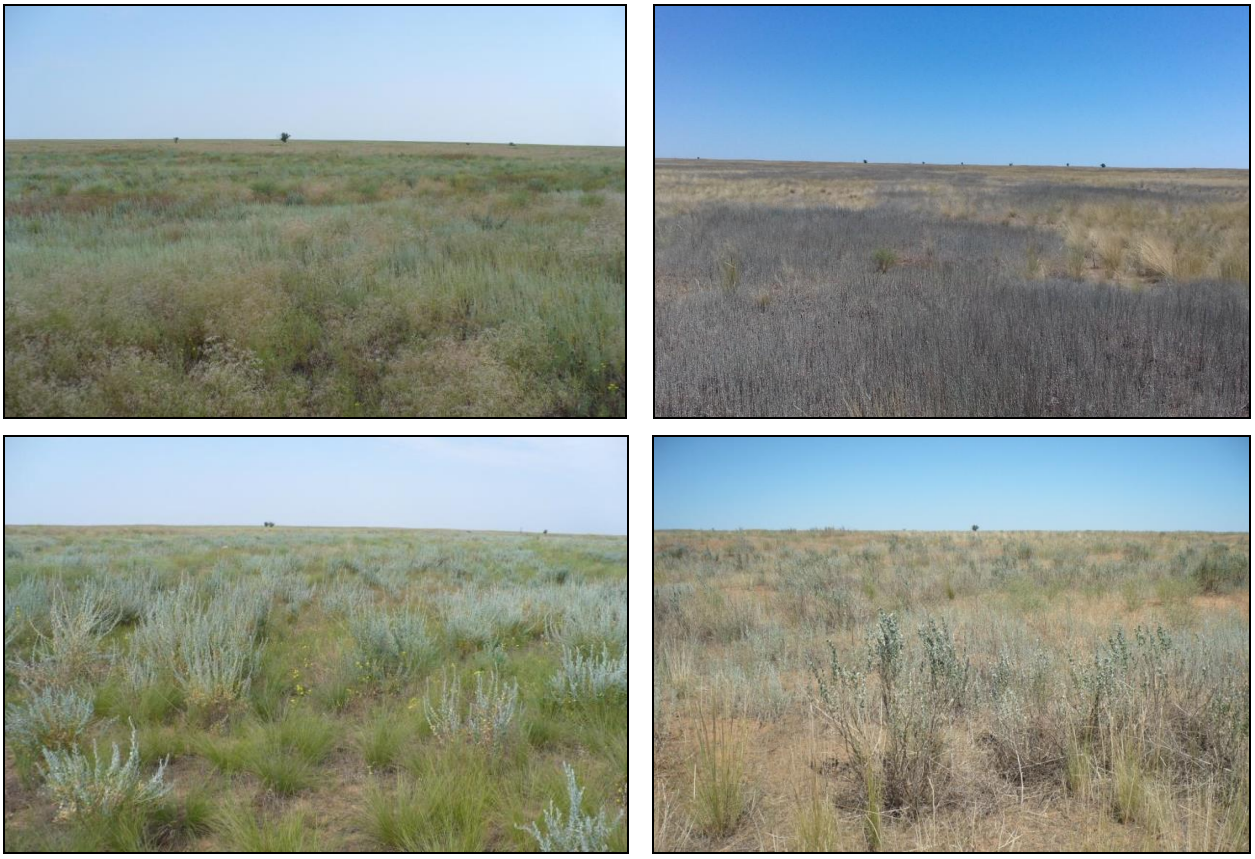


**Фото.** Пастбище «Аэросев»: вверху – общий вид, внизу – с посадками терескена; слева – 2016 г., справа – 2017 г.

На объекте «Аэросев» ставились задачи изучения оптимальной площади посева, способов и норм высева кияка, уточнения технологии ввода в деструктивно-аккумулятивную область после посева кияка различных видов древесно-кустарниковой растительности, разработки приемов содействия естественному зарастанию пространств между лентами посевов (Манаенков, 1993; Петров и др., 2000).

*Материалы и методы.* Исследования проводились при экспедиционных обследованиях (конец июня − начало июля) 2015-2017 годов в урочище «Аэросев» на 3-х опытных полигонах. Стационарные пробные площадки размером 100 м$^2$ с пятью учетными площадями (1×1 м) были заложены в деструктивной, деструктивно-аккумулятивной (барханной), аккумулятивной областях бывшего очага опустынивания и прилегающей пастбищной территории (контроль), на которых были выполнены геоботанические описания (Алехин, 1938) и сделаны укосы для учета фитомассы нижнего яруса лесопастбища (Общесоюзная инструкция ..., 1984; Браун, 1957; Кормовые растения ..., 1950-1956). Описание растительности выполнялось с учетом флористического состава, обилия (по шкале Друде), фенологических стадий главнейших растений, ярусности, густоты, высоты травостоя, а также

степени покрытия и жизненности видов. Данные метеорологических наблюдений получены с метеостанции с. Яшкуль, находящейся в 46 км от места проведения исследований. Латинские названия растений приведены по номенклатуре С.К. Черепанова (1995).

*Метеорологические условия периода исследований.* Рост и развитие растений на полупустынной территории определяют в основном атмосферные осадки, которых за 2015 год выпало 236 мм, из них 83 мм – за холодный период и 153 мм – за теплый, что при комфортной температуре и достаточно высокой увлажненности в апреле-июне (30-39 мм) создало благоприятные условия для формирования хорошего урожая пастбищных трав. Распределение осадков теплого периода по летним месяцам на Черных землях, как правило, происходит очень неравномерно. Июль-август 2015 года оказались засушливыми (8-9 мм; рис. 2). Сумма осадков в 2016 году составила 326 мм, за холодный период выпало 105 мм, за теплый (апрель-сентябрь) – 221 мм. Однако начало весеннего (март-апрель) и конец летнего периода (август – начало сентября) оказались засушливыми для вегетации трав: количество осадков августа-сентября составило всего 7-8 мм. Метеоусловия 2017 года стали более сухими для развития пастбищных растений. Количество осадков за весь период составило всего 203 мм, что оказалось ниже средних многолетних данных (233 мм) на 12-18%. При этом за холодный период выпало 122 мм, а за теплый (апрель-август) − 73 мм. По сумме выпавших осадков теплый период 2017 года на Черных землях оказался очень сухим, влагообеспеченность июля-августа стала самой низкой за последние 3 года и составила 1-9 мм. Для данной территории характерно неустойчивое и неравномерное количество осадков как по месяцам, так и за год в целом.

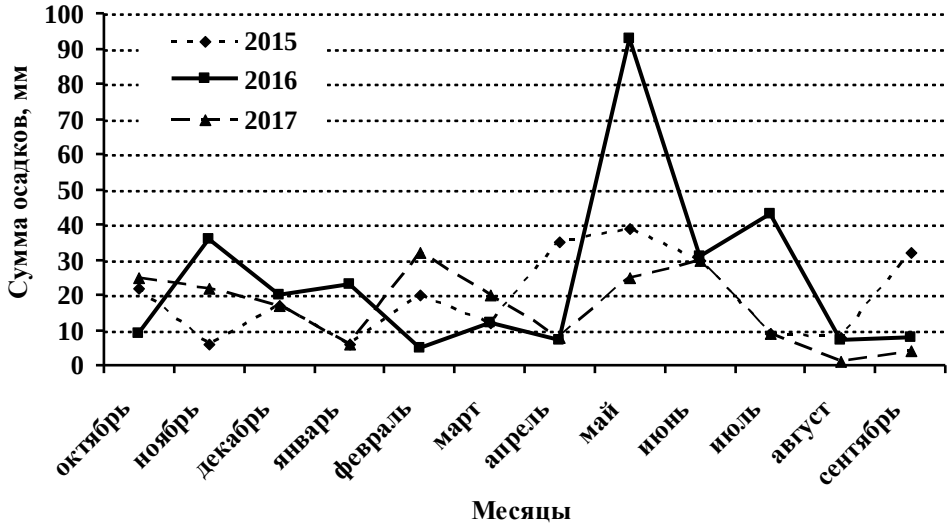



**Рис. 2.** Сравнительная динамика суммы осадков по месяцам периода проведения исследований.

## Результаты и обсуждение

*Растительность.* Травяная растительность изучалась на учетных площадках в деструктивной, деструктивно-аккумулятивной и аккумулятивной областях. Контролем служило пастбище на зональной почве.

В растительном покрове нижнего травяного яруса лесопастбища «Аэросев» в настоящее время преобладают разнотравно-полынно-злаковые комплексы. Второй ярус в деструктивной области представлен полукустарником терескеном (*Krascheninnikovia ceratoides*), который формирует высокопродуктивные разнотравно-терескеновые сообщества; кустарниковый ярус в деструктивной и деструктивно-аккумулятивной области составлен лохом узколистным (*Elaeagnus angustifolia*) и единичными кустами джузгуна (*Calligonum aphyllum*); древесный ярус, частично сохранившийся в деструктивно-аккумулятивной области лесопастбища, в основном представлен вязом приземистым (*Ulmus pumila*) и робинией (*Robinia pseudoacacia*).

На месте 29-летних лесомелиоративных посадок терескена серого сохраняется его самосев разного возраста, количество которого колеблется от 3 до 5 штук на 10 м$^2$ (3-5 тыс. шт/га), средняя высота составляет 40-60 см, максимальная – 80 см. Терескен самосевом расселяется и произрастает как в деструктивной, так и частично уже в деструктивно-аккумулятивной области бывшего очага

опустынивания. Он стабильно сильно стравливается как домашними животными, так и дикими (сайгаками, зайцами), что сдерживает его семенное возобновление и более активное расселение.

Аккумулятивная область участка «Аэросев» ранее неоднократно подвергалась пожарам, от джузгуновых насаждений сохранились лишь небольшие обгорелые остатки, живые кусты встречаются единично.

В аккумулятивной области участка преобладают разнотравно-злаково-полынные комплексы (*Artemisia lerchiana–Stipa capillata–Gypsophila paniculata, Achillea micrantha* и др.), распространены также разнотравно-полынные (*Artemisia lerchiana–Centaurea diffusa, Astragalus dolichophyllus, Alyssum turkestanicum* и др.), однолетниково-ковыльные (*Stipa capillata–Filago arvensis, Lepidium perfoliatum, Lappula squarrosa)*, в понижениях–разнотравно-ластовневые (*Cynanchum sibiricum–Centaurea diffusa, Barbarea vulgaris, Tragopogon major*), разнотравно-бескильницевые (*Puccinellia distans–Cynanchum sibiricum, Centaurea diffusa*) растительные ассоциации.

В деструктивно-аккумулятивной и деструктивной области лесопастбища преобладают разнотравно-полынно-злаковые, распространены васильково-ковыльные (*Stipa capillata* или *S. lessingiana–Centaurea diffusa*), разнотравно-васильковые (*Centaurea diffusa–Gypsophila paniculata, Barbarea vulgaris, Anisantha tectorum* или *Bromus japonicus*) ассоциации. Самыми распространенными сообществами являются разнотравно-злаково-ковыльные (виды рода *Stipa* дополнены в разном сочетании другими злаками: *Festuca valesiaca, Koeleria macrantha, Anisantha tectorum, Poa bulbosa*), эфемерово-ковыльные (*Stipa capillata* или *S. lessingiana–Alyssum turkestanicum, Anisantha tectorum, Bromus japonicus, Lepidium perfoliatum, Androsace maxima*), редкими – разнотравно-полынные и разнотравно-костровые.

На учетных площадках каждой из областей очага измерялись и оценивались основные характеристики сообществ: общее проективное покрытие растительности, обилие видов по шкале Друде, количество видов, высота растений, вес фитомассы в воздушно-сухом виде.

*Общее проективное покрытие* нижнего яруса лесопастбища на площадках и в целом на полигонах в 2017 году низкое, среднее значение − 20%. В аккумулятивной области − от 10% до 50%, в деструктивной и деструктивно-аккумулятивной − от 10 до 40%, а в прошлые годы проективное покрытие на всех участках составляло 40-90%. Проективное покрытие на контрольном пастбищном участке составляет 10-20%, в благоприятные для развития пастбищной растительности (особенно однолетников) годы в раннелетний период – до 60-70%.

*Высота растений.* Средняя высота травостоя на участках составляла около 30 см, что ниже, чем в прошлые годы. Средняя высота травостоя контрольного участка − 25 см. Самыми высокими растениями на открытом пространстве лесопастбища оказались редко встречающийся, но плодоносящий кияк (до 80 см), преобладающий на больших участках ковыль (*Stipa capillata*; до 60 см), доминирующий, особенно в понижениях, василек раскидистый (*Centaurea diffusa*; 40-50 см). В растительных ассоциациях отсутствовал доминирующий в прошлых сезонах гулявник (*Sisymbrium loeselii*), незначительно присутствовали качим (*Gypsophila paniculata*) и сурепка (*Barbarea vulgaris*). Пыреи (*Elitrigia repens, E. intermedia*) были стравлены. Отмечались бескильницевые (*Puccinellia distans*) участки с хорошим плодоношением в аккумулятивной и деструктивно-аккумулятивной областях, которые сильно стравлены, но по краям дернин наблюдалось плодоношение. Житняк гребенчатый (*Agropyron pectinatum*) и ломкий (*A. fragile*), встречавшиеся ранее в растительных ассоциациях отдельными кустами, не были выявлены, генеративных побегов не было замечено из-за их сильного стравливания. В последние годы отмечено почти полное отсутствие неравноцветника кровельного (*Anisantha tectorum*), бурачка пустынного (*Alyssum turkestanicum*) и чертополоха крючковатого (*Carduus incinatus*). Из астровых многолетников наибольшее развитие получили полынь белая (*Artemisia lerchiana*; 35 см) и австрийская (*A. austriaca*; 20-30 см) в угнетенном состоянии.

Кормовые однолетники, пажитник пряморогий (*Trigonella orthoceras*) и полевичка малая (*Eragrostis minor*), массовое развившиеся на лесопастбище «Аэросев» и контроле в 2015 и 2016 годы соответственно, в метеоусловиях весны и лета 2017 года не встречены в фитоценозах участка.

Контрольное пастбище сильно сбито и стравлено, основу травостоя представляли злаки – ковыли (*Stipa capillata*, в меньшей степени *S. lessingiana*) и неравноцветник кровельный (*Anisantha tectorum*). Максимальная высота ковыля (генеративные побеги) не превышала 30-40 см, а в благоприятные по метеоусловиям годы достигала 85-90 см, делая возможной его заготовку на сено. Высота

неравноцветника не превышает 10-15 см.

Ковыль сильно стравливается весной, а неравноцветник практически полностью выбивается к летнему периоду. Из других злаков на пастбище произрастали в небольшом количестве сильно стравленные бескильница (*Puccinellia distans*), тонконог (*Koeleria macrantha*) и пырей (*Elitrigia repens, E. intermedia*). Из разнотравья чаще других встречались бурачок, сурепка, единично – качим, василек, липучка, розетки чертополоха, стравленный астрагал и др. Полынь белая и сантонинная угнетены и слабо развиты (до 20 см) и встречались редкими пятнами площадью от 1 до 3 м$^2$.

*Количество видов.* За все время мониторинга на лесопастбище «Аэросев» зафиксировано 69 видов растений из 18 семейств. Из них 22 вида в последний год на момент обследования (июнь-июль) не обнаружены в фитоценозах по причине неблагоприятного вегетационного периода, сильного стравливания и массового развития саранчи по некоторым понижениям. На степном контрольном участке отмечен 41 вид из 13 семейств, отсутствовало 15 видов. В предыдущие 2 года от зафиксированных отсутствовало лишь 2-6 и 1-2 вида соответственно. Биоразнообразие на фитомелиорированной территории практически вдвое выше, а в благоприятные вегетационные периоды выше в 2.5 раза в результате появления в растительном покрове аборигенных видов, особенно подверженных сезонным флуктуациям однолетников. Представителей семейства астровых (*Asteraceae*) и злаковых (*Poaceae*), присутствующих на лесопастбище (15 и 12 видов), было в 2 раза больше, чем на пастбище, где эти семейства представлены 6 и 8 видами соответственно. Семейство капустных (*Brassicaceae*) представлено 4 видами на лесопастбище и 3 на пастбище, маревых (*Chenopodiaceae*) – 3 и 1 соответственно, причем, самым ценным из них как по продуктивности, так и по способности быстро и на длительное время стабилизировать фитомелиорированные территории является терескен серый. Представители других семейств растений представлены 1-2 видами, но все они играют несомненную роль в стабилизации фитомелиорированных территорий, особенно древесно-кустарниковые растения (джузгун, лох, вяз, робиния, ясень, тополь).

*Фитомасса.* Среднее значение фитомассы травяного яруса составляет 12.4 ц/га. Измеренное значение фитомассы в разные годы сильно отличалось во всех эколого-морфологических областях урочища. Запасы фитомассы зависят не только от метеоусловий и стравливания, но и от особенностей биологии вида, запаса семян в почве и места произрастания.

Наибольшая продуктивность (28-30 ц/га) пастбищ отмечалась во влажные вегетационные периоды (2015 г.), когда хорошее развитие на лесопастбище и на контроле получают злаки и бобовые и происходит вспышка массового развития одного из видов. В 2015 году пажитник прямороги (*Trigonella ortoceras*) и его доля в укосах составляла от 32.2% в открытой части деструктивной области лесопастбища до 67.6% в междурядьях терескена и до 49.3% на контроле. В 2016 году средние запасы фитомассы оценивались в 7.9-9.5 ц/га, что в 3-3.5 раза ниже, чем в предыдущем году, так как сумма осадков за февраль-апрель составила всего 24 мм против 67 мм в 2015 году, в апреле – 7 мм против 35 мм, т.е. в 5 раз меньше, а урожайность, особенно в весенне-летний период, на 70% зависит от количества продуктивной влаги на начало вегетации (Воронина, 1994). Как видим (табл. 1.), значения фитомассы травяной растительности 2017 года в деструктивной области лесопастбища на 17% выше, чем на прилегающей пастбищной территории (контроль) и составляло 10.0 и 11.7 ц/га. В деструктивно-аккумулятивной области – 17.2 ц/га, что в 1.5 и 1.7 раза выше, чем в деструктивной и на контроле. В слое 0-15 см сосредоточено 47-55% общей фитомассы травяной растительности, на слой 0-30 см приходилось уже 83-85%, причем на разнотравно-полынно-злаковых участках в насаждениях терескена этот слой был заполнен равномернее.

В структуре воздушно-сухой массы срезов травяной растительности (табл. 2) на злаки приходилось от 23.3% в разнотравно-полынно-злаковых ассоциациях под защитой терескена (*Krascheninnikovia ceratoides*) в деструктивной области до 52.5% в разнотравно-полынно-злаковых фитоценозах деструктивно-аккумулятивной области лесопастбища, а на контрольном пастбище 82.5% фитомассы достигалось за счет преимущественного развития ковылей, костра, тонконога, овсяницы, слабого развития разнотравья и полыни. Разнотравья по массе больше всего (51.2%) в междурядьях терескена деструктивной области, в деструктивно-аккумулятивной области лесопастбища фитомасса разнотравья в 2 раза меньше (26.1%), на контроле в степи – в 3 раза меньше (всего 17.5%). Под защитой терескена масса полыней (чаще *Artemisia lerchiana*) в деструктивной области составляет 25.5% от общей накопленной фитомассы, в деструктивно-аккумулятивной области лесопастбища – 21.4%, на контроле полыни встречаются очень редко и развиты слабо.

**Таблица 1.** Урожайность и структура фитомассы травяной растительности.

| Эколого-морфологическая область | Ассоциация | Высота среза образца, см | Воздушно-сухая масса, г/м$^2$ | | | | | | Урожайность, ц/га |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Общая | | Поедаемая | | Не поедаемая | | |
| | | | г/м$^2$ | % | г/м$^2$ | % | г/м$^2$ | % | |
| Деструктивно-аккумулятивная | Разнотравно-злаково-полынная | 0-15 | 95.3 | 55.4 | 83.7 | 48.7 | 11.6 | 6.8 | 17.2 |
| | | 15-30 | 50.7 | 29.5 | 32.0 | 18.6 | 18.7 | 10.9 | |
| | | 30-45 | 20.7 | 12.0 | 9.5 | 5.5 | 11.2 | 6.5 | |
| | | 45-60 | 4.8 | 2.8 | 3.4 | 2.0 | 1.4 | 0.8 | |
| | | 60-75 | 0.4 | 0.3 | 0.4 | 0.2 | - | - | |
| | | Итого: | 171.9 | 100 | 129.0 | 75.0 | 42.9 | 25.0 | |
| Деструктивная | Разнотравно-полынно-злаковая | 0-15 | 54.9 | 46.7 | 39.0 | 33.2 | 15.9 | 13.5 | 11.7 |
| | | 15-30 | 42.7 | 36.3 | 14.1 | 12.0 | 28.6 | 24.3 | |
| | | 30-45 | 16.5 | 14.0 | 3.4 | 2.9 | 13.1 | 11.1 | |
| | | 45-60 | 3.5 | 3.0 | 0.9 | 0.8 | 2.5 | 2.2 | |
| | | Итого: | 117.5 | 100 | 57.4 | 48.9 | 60.1 | 51.1 | |
| Контрольное пастбище на зональной почве | Разнотравно-злаково-ковыльная | 0-15 | 54.3 | 54.3 | 48.2 | 48.2 | 6.1 | 6.1 | 10.0 |
| | | 15-30 | 28.7 | 28.7 | 21.8 | 21.8 | 6.9 | 6.9 | |
| | | 30-45 | 13.6 | 13.6 | 10.4 | 10.4 | 3.2 | 3.2 | |
| | | 45-60 | 3.4 | 3.4 | 2.1 | 2.1 | 1.3 | 1.3 | |
| | | Итого: | 100.0 | 100 | 82.5 | 82.5 | 17.5 | 17.5 | |

**Таблица 2.** Структурный анализ срезов травяной растительности.

| Эколого-морфологическая область | Воздушно-сухая масса | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Злаки | | Полыни | | Разнотравье | |
| | г/м$^2$ | % | г/м$^2$ | % | г/м$^2$ | % |
| Деструктивно-аккумулятивная | 90.2 | 52.5 | 36.8 | 21.4 | 44.9 | 26.1 |
| Деструктивная | 27.4 | 23.3 | 30.0 | 25.5 | 60.1 | 51.2 |
| Контрольное пастбище на зональной почве | 82.5 | 82.5 | – | – | 17.7 | 17.7 |

## Выводы

За 30-летний период на восстановленных пастбищах Северо-Западного Прикаспия (на примере урочища «Аэросев») произошли значительные изменения структуры растительного покрова. Биоразнообразие фитолесомелиорированной восстановленной территории по сравнению с коренным пастбищем увеличилось. Пастбищная флора «потухшего» очага дефляции урочища «Аэросев» состоит из 69 видов сосудистых растений, относящихся к 18 семействам. Ведущее положение в спектре пастбищной флоры занимают семейства *Asteraceae* (15), *Poaceae* (12), *Brassicaceae* (4), *Chenopodiaceae* (3). В кормовой флоре 4-х ярусного (травы+полукустарники+кустарники+деревья) пастбища «Аэросев» многолетние травы незначительно превышают однолетние, что является тревожным индикатором усиленного антропогенного воздействия (пожары, пастбищная нагрузка) на растительность района исследований.

За последние годы выявлен высокий продукционный потенциал пастбищных растений в «потухших» очагах опустынивания: в деструктивной области – 11.7 ц/га, деструктивно-аккумулятивной – 17.2 ц/га, в среднем по восстановленному пастбищу – 12.4 ц/га. Злаково-терескеновые ассоциации и 25-30 лет спустя накапливают 16-20 ц/га общей фитомассы. Кустарниковый ярус (джузгун, терескен) достаточно устойчив в возрасте 30 лет даже в крайне засушливых условиях. Под защитой кустарников активизируется формирование травяного яруса, а устойчивость и продуктивность фитоценозов поддерживает самосев терескена серого и кияка. При утрате кустарникового яруса на заросших песках и увеличении пастбищной нагрузки довольно быстро образуются новые очаги дефляции.

Растительность любой зоны, в т. ч. и растительность природных и восстановленных пастбищ

пустынных и полупустынных областей, обладает важнейшим, фундаментальным свойством – способностью к постоянному ежегодному самовозобновлению и воспроизводству фитомассы, что делает ее источником неисчерпаемого биологического ресурса. Но эти биологические ресурсы неисчерпаемы только тогда, когда они эксплуатируются бережно и рационально в экологически допустимых режимах.

Дальнейшая интенсификация животноводства требует искать новые подходы, методы и средства повышения эффективности природных кормовых угодий. Направление вторичных, восстановительных сукцессий растительного покрова будет зависеть от степени антропогенного влияния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Агроклиматические ресурсы Калмыцкой АССР. 1974. Л.: Гидрометеоиздат. 172 с.

*Алехин В.В.* 1938. Методика полевого изучения растительности и флоры. 2-е изд. пер. и доп. М.: НАРКОМПРОС. 208 с.

*Браун Д.* 1957. Методы исследования и учета растительности / Ред. Т.А. Работнов. М.: Иностранная литература. 316 с.

*Воронина В.П.* 1994. Фитоэкологическая оценка Черноземельских пастбищ // Агроэкологические проблемы Российского Прикаспия. Волгоград: ВНИАЛМИ. С. 168-177.

*Виноградов Б.В., Сорокин А.Д., Федотов П.Б.* 1995. Картографирование климатической аридности территории Калмыкии // Биота и природная среда. М.-Элиста. С. 253-258.

Кормовые растения сенокосов и пастбищ СССР. 1950-1956 / Ред. И.В. Ларин. М.:Сельхозгиз. Т. 1. 1950. 687 с.; Т. 2. 1951. 947 с.; Т. 3. 1956. 877 с.

*Кулик К.Н., Барабанов А.Т., Манаенко А.С.* 2008. Стратегия развития защитного лесоразведения в Российской федерации на период до 2020 года. Волгоград: ВНИАЛМИ. 34 с.

*Яомин Л.* 2008. Мониторинг фитоклиматических условий для прогноза восстановления экологического потенциала опустыненных ландшафтов Западного Прикаспия // Современная экология – наука XXI века. Материалы Международной научно-практической конференции, Рязань: РГУ. С. 82-86.

*Яомин Л.* 2009. Опустынивание и восстановление биоресурсного потенциала субаридных и аридных ландшафтов (На примере Северо-Западного Прикаспия и пустынь Центральной Азии). Автореферат дис. ... канд. геогр. наук. Санкт-Петербург: РГГУ. 17 с.

*Манаенков А.С.* 1993. Реставрация опустыненных пастбищ на Черных землях // Лесное хозяйство. № 6. С. 33-36.

*Манаенков А.С.* 2014. Лесомелиорация арен засушливой зоны. Волгоград: ВНИАЛМИ. 420 с.

*Настинова Г.Э., Бадмаев В.Э., Бадмаев В.С., Анджиева В.О.* 2010. Современные особо охраняемые природные территории Республики Калмыкия // Известия дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. № 1. С. 98-104.

*Неронов В.В.* 2006. Динамика биоразнообразия аридных экосистем при естественном восстановлении (на примере Черных земель Калмыкии) // Известия РАН. Серия географическая. № 2. С. 111-119.

Общесоюзная инструкция по проведению геоботанического исследования природных кормовых угодий и составлению крупномасштабных геоботанических карт. 1984. М.: Колос. 77 с.

*Петров В.И., Кулик К.Н., Терюков А.Г., Манаенков А.С., Воронина В.П.* 2000. Рекомендации по формированию лесопастбищ в аридной зоне. Волгоград. 42 с.

*Радочинская Л.П., Кладиев А.К.* 2017. Восстановление растительного покрова деградированных пастбищ агролесомелиоративными приемами // Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования. Материалы II международной научно-практической интернет-конференции. ФГБНУ «Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия», Соленое Займище. С. 385-391.

*Сератирова В.В., Бананова В.А.* 2016. Оптимизация пастбищной нагрузки в Республике Калмыкия // Международный научно-исследовательский журнал. № 11 (53). Ч. 5. С. 98-100.

*Трофимов И.А.* 1995. Природные и кормовые угодья Черных земель // Биота и природная среда Калмыкии. Москва: ООО «Каркис». С. 53-83.

*Федорова Н.Л.* 2011. Ботаническое разнообразие Прикаспийских пустынь в пределах региона Черных земель // Вестник института комплексных исследований аридных территорий. № 1. С. 108-116.

*Черепанов С.К.* 1995. Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб: Мир и семья. 992 с.

*АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2019, том 25, № 1 (78), с. 69-78*

**ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ**

*УДК 598.2*

# ОЦЕНКА РАСПРОСТРАНЕНИЯ РЕДКИХ ВИДОВ ПТИЦ В РЕГИОНАЛЬНЫХ АРИДНЫХ БИОМАХ РОССИИ – ОСНОВА ДЛЯ ИХ ОХРАНЫ[1]

**© 2019 г. Л.Г. Емельянова**

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

Поступила в редакцию 16.06.2018. После доработки 16.06.2018. Принята к публикации 16.07.2018.

Для аридных и семиаридных региональных биомов России оценено биоразнообразие редких, исчезающих и восстанавливающихся видов птиц (Красной книги Российской Федерации и Красной книги Международного союза охраны природы (IUCN, 2018). Показано, что на аридных и семиаридных территориях обитает 104 охраняемых вида из 118 видов, обитающих на всей территории России. Установлена группа редких видов, не обеспеченных и слабо обеспеченных охраной на уровне заповедников в пределах аридных и семиаридных региональных биомов России. Результаты работы могут быть использованы для оценки регионального биоразнообразия редких и исчезающих видов птиц и разработки результативных мер повышения уровня их охраны.

*Ключевые слова:* охраняемые виды птиц, Красная книга Российской Федерации, Красная книга МСОП, региональные биомы, заповедники.

**DOI: 10.24411/1993-3916-2019-00046**

Сохранение редких видов, как и живой природы в целом, многие специалисты рассматривают как одну из приоритетных задач, стоящих в настоящее время перед человечеством. Россия имеет богатый опыт охраны природы, особенно в области заповедного дела и сохранения редких видов – этих двух важнейших природоохранных инструментов, использующихся во всем мире (Штильмарк, 2006; Rodriges et al., 2004). В основном особо охраняемые природные территории (ООПТ) занимают более 13% поверхности суши, что говорит о достаточно серьезной природоохранной работе (Jenkins, Joppa, 2009), однако биологическое разнообразие продолжает стремительно сокращаться (Емельянова, Тарасова, 2016, 2018). И если подходы к выделению редких и уязвимых видов в международной практике отработаны, то подходы к планированию новых ООПТ в последние годы стали особенно внимательно анализироваться (Категории и критерии …, 2001; Joppa, Pfaff, 2009). Очевидно, что в основе такого планирования должны лежать знания о статусе и распространении редких видов, без чего невозможно планировать научно обоснованную природоохранную деятельность.

Вместе с тем изучение распространения редких видов для планирования новых ООПТ и других природоохранных мероприятий невозможно в отрыве от среды обитания, природно-климатических условий и растительного покрова (Ando et al., 1998). Обычно заповедники рассматриваются в составе административных образований, тогда как экологические процессы пересекают политические границы и для адекватной оценки ситуации необходимо рассматривать природные территориальные единицы (Joppa, Pfaff, 2009). Особенно актуален такой дифференцированный подход для России – страны, отличающейся очень неоднородными природными условиями. Этим требованиям в полной мере отвечает региональный биом – единица географического деления, объединяющая растительные сообщества и животный мир с зонально-климатическими условиями (Биомы …, 2015). Соотнесение ареалов редких видов млекопитающих и птиц со схемой биомов РФ, анализ расположения заповедников, т.е. ООПТ с наиболее строгим режимом охраны, может позволить по-новому оценить региональное биоразнообразие редких видов, оценить с этих позиций сеть ООПТ страны и наметить конструктивные подходы к улучшению ситуации.

[1] Публикация подготовлена при поддержке гранта РНФ № 14-50-00029 Проект «Научные основы создания национального банка-депозитария живых систем», направление «Животные».

## Материалы и методы исследований

В «Красную книгу Российской Федерации» (2001; далее – Красная книга РФ) внесены 118 видов и подвидов птиц (без морских). Каждому из них присвоены определенные категория (от 0 до 5) и статусы (от «вероятно исчезнувших» до «восстанавливаемых и восстанавливающихся»). Для каждого вида дана мелкомасштабная картосхема, на которой методом ареалов показана область распространения. Некоторые виды птиц не гнездятся в России, но были зарегистрированы на ее территории в единичных случаях или во время пролета в определенных – одних и тех же из года в год – местах. Некоторые охраняемые виды (стерха, лопатня и др.) не используют семиаридные и аридные области для гнездования, но во время пролета также из года в год регистрируются в определенных местах. Такие находки отображены на картосхемах в Красной книге РФ методом внемасштабных знаков и упоминаются в литературе, и мы учитывали их при составлении карты и таблицы количественного распределения видов в аридных и семиаридных биомах России.

В работе использован картографический метод исследований – оптимальный для отражения пространственных закономерностей размещения объекта. Мелкомасштабные картосхемы ареалов, представленные в Красной книге РФ для видов птиц, были спроецированы на карту региональных биомов (Биомы …, 2015), после чего была составлена авторская карта распределения количества видов в каждом из 66 региональных биомов РФ. Методом количественного фона на ней отражено количество видов, обитающих на территории каждого биома (рис. 1). Оценка регионального биоразнообразия редких видов для всех биомов РФ позволяет на этом фоне оценить их количество в 18 аридных и семиаридных региональных биомах. Это биомы №№ 26 (частично), 27-35, 57-62, 64 (частично) и 66. Для создания обзорной карты использовался графический редактор Gimp 2.8.

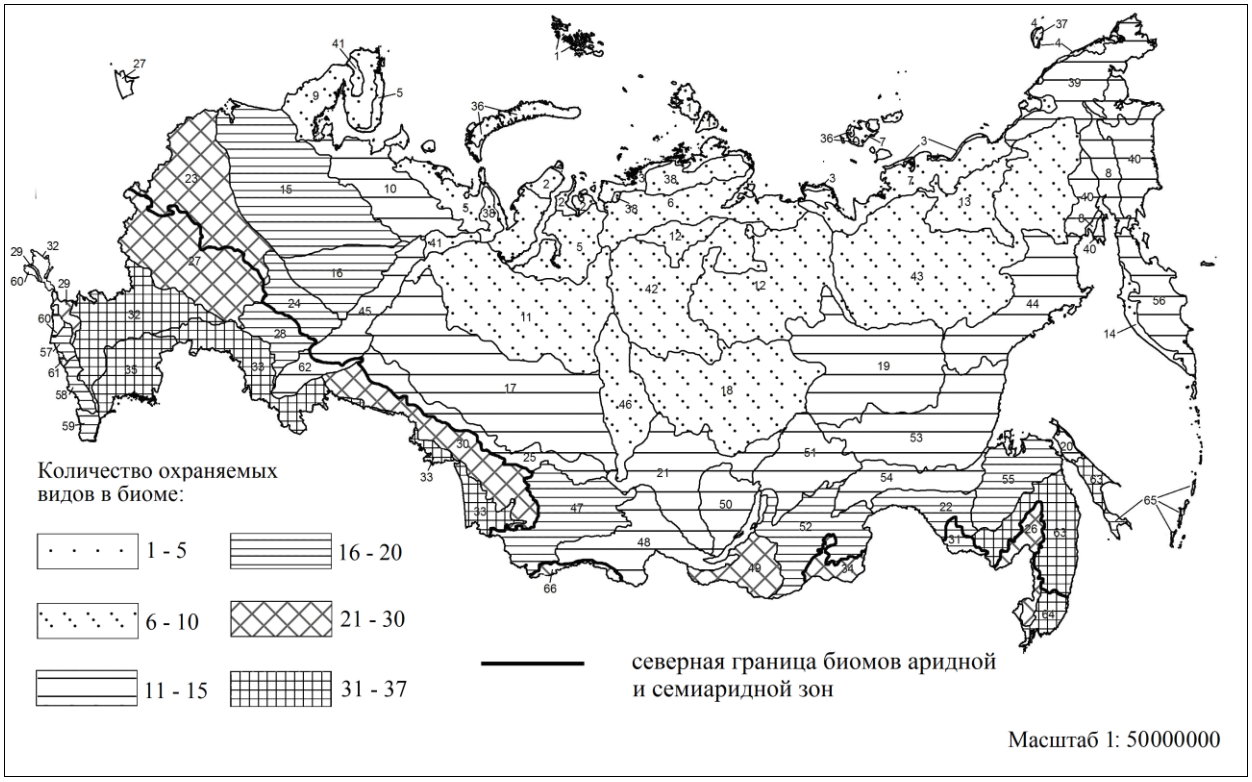



**Рис. 1.** Количество охраняемых видов птиц в региональных биомах Российской Федерации. *Условные обозначения.* Названия биомов: 1 – Высокоарктический островной, 2 – Новоземельско-Ямало-Гыданский арктическо-тундровый, 3 – Таймыро-Восточносибирский, 4 – Чукотский, 5 – Канинско-Большеземельско-Тазовский, 6 – Таймыро-Центральносибирский, 7 – Лено-Колымский, 8 – Анадыро-Пенжинский, 9 – Кольско-Карельский, 10 – Мезено-Печорский, 11 – Западносибирский северный, 12 – Котуйско-Ленский, 13 – Нижнеколымский, 14 – Западнокамчатский, 15 – Прибалтийско-Ветлужский, 16 – Приуральский, 17 – Обь-Иртышский, 18 – Верхневилюйский, 19 – Центральноякутский, 20 – Северосахалинский, 21 – Приангарский, 22 – Зее-Амурский, 23 –

Смоленско-Приволжский, 24 – Вятско-Камский, 25 – Западносибирский южный, 26 – Амуро-Уссурийский, 27 – Днепровско-Приволжский, 28 – Заволжский лесостепной, 29 – Крымско-Кавказский, 30 – Тоболо-Приобский лесостепной, 31 – Зее-Буреиский лесостепной, 32 – Причерноморско-Предкавказский, 33 – Заволжско-Кулундинский степной, 34 – Даурский степной, 35 – Прикаспийский пустынный опустыненных степей и северных пустынь, 36 – Горных тундр высокооарктических островов, 37 – оробиом острова Врангеля, 38 – Полярно-Урало-Центральносибирский (Таймыр), 39 – Чукотский, 40 – Корякский, 41– Хибино-Североуральский, 42 – Путоранский, 43 – Верхояно-Колымский, 44 – Североохотский, 45 – Среднеуральский, 46 – Енисейского кряжа, 47 – Алтае-Саянский, 48 – Восточносаяно-Прибайкальский, 49 – Саяно-Южнозабайкальский, 50 – Прибайкальско-Момский, 51 – Кодаро-Копарский, 52 – Южнозабайкальский, 53 – Алдано-Майский, 54 - Тугурингро-Джагдинский, 55 – Южноохотский, 56 – Камчатско-Курильский, 57 – Северо-Западнокавказский, 58 – Эльбрусский, 59 – Дагестанский, 60 – Крымско-Новороссийский, 61 – Западнокавказский (Сочинский), 62 – Южноуральский, 63 – Сахалино-Сихотэ-Алиньский, 64 – Сихотэ-Алиньский южный, 65 – Южный Дальневосточный островной, 66 – Юго-Восточноалтайско-Тувинский.

Градации количества охраняемых видов в биомах (от 1 до 37 видов в биоме) показаны с помощью разного типа штриховки. Дополнением к легенде служат данные, представленные в таблице 1, в которой отражены категории видов в Красных книгах РФ (Красная книга …, 2001) и МСОП (IUCN, 2018), номера биомов, на территории которых распространен тот или иной вид, а также количество заповедников в пределах ареала каждого вида. Эта информация, сопряженная с картой, позволяет оценить степень редкости вида и обеспеченность охраной на уровне заповедников. Оценка количества редких видов в биомах очень важна при планировании и организации сети охраняемых природных территорий.

**Таблица 1.** Охраняемые виды птиц в региональных биомах России и их категории в Красной книге РФ (2001) и Красной книге МСОП (IUCN, 2018).

| № | Название вида | Категория по Красной книге РФ | Категория по Красно книге МСОП | Биомы | | Количество заповед-ников |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Равнинные | Горные | |
| Отряд Гагарообразные (*Gaviiformes*) | | | | | | |
| 1 | Чернозобая гагара европейская (*Gavia arctica arctica* Linnaeus, 1758) | 2 | LC | 15,16, 23, 24 | – | 3 |
| 2 | Белоклювая гагара (*Gavia adamsii* Gray, 1859) | 3 | NT | 3, 4, 6, 7, 12, 13 | 38, 39, 42, 43 | 1 |
| Отряд Веслоногие (*Pelecaniformes*) | | | | | | |
| 3 | Розовый пеликан (*Pelecanus onocrotalus* Linnaeus, 1758) | 1 | LC | 32 | – | 5 |
| 4 | Кудрявый пеликан (*Pelecanus Pelecanus* Bruch, 1832) | 2 | NT | 29, 32, 35 | – | 8 |
| 5 | Малый баклан (*Phalacrocorax pygmaeus* Pallas, 1773) | 2 | LC | 35 | – | 3 |
| Отряд Аистообразные (*Ciconiiformes*) | | | | | | |
| 6 | Египетская цапля (*Bubulcus ibis* Linnaeus, 1758; Wagler, 1829) | 3 | LC | 35 | – | 4 |
| 7 | Средняя белая цапля (*Bubulcus intermedia* Wagler, 1829) | 3 | LC | – | 63, 64, 65 | 2 |
| 8 | Желтоклювая цапля (*Bubulcus eulophotes* Swinhoe, 1860) | 1 | VU | – | 63, 64, 65 | 2 |
| 9 | Колпица (*Platalea leucorodia* Linnaeus, 1758) | 2 | LC | 26, 29, 32, 34, 35 | 49, 63 | 10 |

**Продолжение таблицы 1.**

| № | Название вида | Категория по Красной книге РФ | Категория по Красно книге МСОП | Биомы | | Количество заповед-ников |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Равнинные | Горные | |
| 10 | Каравайка (*Plegadis falcinellus* Linnaeus, 1766) | 3 | LC | 29, 32, 35 | – | 7 |
| 11 | Красноногий ибис (*Nipponia nippon* Temminck, 1835) | 1 | EN | 26, 31 | – | 1 |
| 12 | Дальневосточный аист (*Ciconia boyciana* Swinhoe, 1873) | 1 | EN | 22, 26, 31 | – | 4 |
| 13 | Черный аист (*Ciconia nigra* Linnaeus, 1758) | 3 | LC | 15-19, 21-28, 30-34 | 45-55, 57, 58, 59, 61-64, 66 | 19 |
| Отряд Фламингообразные (*Phoenicopteriformes*) | | | | | | |
| 14 | Обыкновенный фламинго (*Phoenicopterus roseus* Pallas, 1811) | 3 | LC | 17, 19, 21, 23, 25, 27, 29, 32, 33, 35 | 46, 47, 48, 50, 51 | 7 |
| Отряд Гусеобразные (*Anseriforme*) | | | | | | |
| 15 | Алеутская канадская казарка (*Branta canadensis leucopareia* Brandt, 1836) | 4 | LC | – | 56 | 1 |
| 16 | Американская казарка (*Branta nigricans* Lawrence, 1846) | 3 | LC | 3, 4, 6, 7 | 36, 37, 39 | 2 |
| 17 | Краснозобая казарка (*Rufibrenta ruficollis* Pallas, 1769) | 3 | VU | 2, 3, 5, 6 | 38 | 9 |
| 18 | Пискулька (*Anser erythropus* Linnaeus,1758) | 2 | VU | 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13 | 38, 39, 40, 41, 42, 43 | 10 |
| 19 | Горный гусь (*Eulabeia indica* Latham, 1790) | 1 | LC | – | 49, 66 | 3 |
| 20 | Сухонос (*Cygnopsis cygnoides* Linnaeus, 1758) | 1 | VU | 34 | 55 | 5 |
| 21 | Малый лебедь (*Cygnus bewicki* Yarrell, 1830) | 5 | LC | 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10 | 36, 38, 39, 43 | 7 |
| 22 | Американский лебедь (*Cygnus columbianus* Ord, 1815) | 3 | LC | 4 | 39 | 5 |
| 23 | Хохлатая пеганка (*Tadorna cristata* Kuroda, 1917) | 1 | CR | – | 64 | 1 |
| 24 | Клоктун (*Anas formosa* Georgi, 1775) | 2 | LC | 6, 7, 8, 12, 13, 18, 19 | 38, 39, 40, 43, 44, 55, 63 | 5 |
| 25 | Мраморный чирок (*Anas angustirostris* Menetries, 1832) | 1 | VU | 32, 35 | – | 2 |
| 26 | Мандаринка (*Aix galericulata* Linnaeus, 1758) | 3 | LC | 26 | 63, 64, 65 | 5 |
| 27 | Нырок (чернеть) Бэра (*Aythya baeri* Radde, 1863) | 3 | CR | 22, 26, 31 | 52, 55, 63, 64 | 3 |
| 28 | Белоглазый нырок (чернеть) (*Aythya nyroca* Gueldenstaedt, 1770) | 2 | NT | 23, 27, 28, 29, 30, 32, 33, 35 | – | 9 |
| 29 | Савка (*Oxyura leucocephala* Scopoli, 1769) | 1 | – | 17, 25, 30, 32, 33, 35 | 47, 49, 66 | 5 |

**Продолжение таблицы 1.**

| № | Название вида | Категория по Красной книге РФ | Категория по Красно книге МСОП | Биомы | | Количество заповед-ников |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Равнинные | Горные | |
| 30 | Чешуйчатый крохаль (*Mergus squamatus* Gould, 1864) | 3 | EN | – | 55, 63, 64 | 4 |
| Отряд Соколообразные (*Falconiformes*) | | | | | | |
| 31 | Скопа (*Pandion haliaetus* Linnaeus, 1758) | 3 | LC | 9-34 | 35, 41, 42, 44-56, 60-66 | 21 |
| 32 | Красный коршун (*Milvus milvus* Linnaeus, 1758) | 1 | NT | 23, 27 | 61 | 3 |
| 33 | Степной лунь (*Circus macrourus* S.G. Gmelin, 1771) | 2 | NT | 23, 27, 28, 29, 30, 32, 33, 35 | 45, 47, 48, 49, 57, 58, 59, 60, 61, 62 | 14 |
| 34 | Европейский тювик (*Accipiter brevipes* Severtzov, 1850) | 3 | LC | 27, 28, 29, 32, 33, 35 | 58, 59 | 5 |
| 35 | Курганник (*Buteo rufinus* Cretzschmar, 1827) | 3 | LC | 27, 32, 33, 35, | – | 9 |
| 36 | Ястребиный сарыч (*Butastur indicus* Gmelin, 1788) | 2 | LC | 26 | 63, 64 | 4 |
| 37 | Змееяд (*Circaetus gallicus* Gmelin, 1788) | 2 | LC | 15, 23, 24, 27, 28, 30, 32, 33 | 57, 58, 59, 61, 62 | 14 |
| 38 | Хохлатый орел (*Spizaetus nipalensis* Hodgson, 1836) | 3 | LC | 26 | 63, 64, 65 | 1 |
| 39 | Степной орел (*Aquila rapax* Temminck, 1828) | 3 | LC | 33, 34, 35 | 49, 52, 66 | 13 |
| 40 | Большой подорлик (*Aquila clanga* Pallas, 1811) | 2 | VU | 15, 16, 23, 24, 26, 27, 28, 31, 32, 33 | 45, 62, 63, 64 | 17 |
| 41 | Малый подорлик (*Aquila pomarina* C.L. Brehm, 1831) | 3 | LC | 15, 23, 27, 29, 32, 35 | 57, 58, 59, 60, 61 | 11 |
| 42 | Могильник (*Aquila heliaca* Savigny, 1809) | 2 | VU | 15, 16, 21, 23, 24, 27, 28-30, 32, 33, 35 | 45, 47-50, 52, 57- 60, 62, 66 | 14 |
| 43 | Беркут (*Aquila chrysaetos* Linnaeus, 1758) | 3 | LC | 4, 8-34 | 35, 39-66 | 21 |
| 44 | Орлан-долгохвост (*Haliaeetus leucoryphus* Pallas, 1771) | 1 | EN | 32, 33, 35 | 49, 52, 66 | 4 |
| 45 | Орлан-белохвост (*Haliaeetus albicilla* Linnaeus, 1758) | 3 | LC | 5, 8-34 | 35, 38-66 | 24 |
| 46 | Белоплечий орлан (*Haliaeetus pelagicus* Pallas, 1811) | 3 | VU | 8, 14, 20 | 40, 44, 53-55, 56, 63-65 | 3 |
| 47 | Бородач (*Gypaetus barbatus* Linnaeus, 1758) | 3 | NT | – | 47, 57, 58, 59, 66 | 9 |
| 48 | Стервятник (*Neophron percnopterus* Linnaeus, 1758) | 3 | EN | – | 57, 58, 59 | 8 |
| 49 | Черный гриф (*Aegypius monachus* Linnaeus, 1766) | 3 | NT | 33 | 57, 58, 59, 64, 66 | 15 |
| 50 | Белоголовый сип (*Gyps fulvus* Hablizl, 1783) | 3 | LC | – | 57, 58, 59 | 9 |

**Продолжение таблицы 1.**

| № | Название вида | Категория по Красной книге РФ | Категория по Красно книге МСОП | Биомы | | Количество заповед-ников |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Равнинные | Горные | |
| 51 | Кречет (*Falco rusticolus* Linnaeus, 1758) | 2 | LC | 2-19, 21, 22, 24, 25, 30, 34 | 37-56 | 8 |
| 52 | Балобан (*Falco cherrug* Gray, 1834) | 2 | EN | 21, 27, 30, 32, 33 | 47, 48, 49, 50, 52, 66 | 13 |
| 53 | Сапсан (*Falco peregrinus* Tunstall, 1771) | 2 | LC | 2-27, 29-31, 34 | 36, 38-61, 63-66 | 20 |
| 54 | Степная пустельга (*Falco naumanni* Fleischer, 1818) | 1 | LC | 21, 29, 30, 32, 33, 35, | 47-50, 57-61, 66 | 10 |
| Отряд Курообразные (*Galliformes*) | | | | | | |
| 55 | Кавказский тетерев (*Lyrurus mlokosiewviczi* Taczanowski, 1875) | 3 | NT | – | 57, 58, 59 | 6 |
| 56 | Манчжурская бородатая куропатка (*Perdix dauurica suschkini)* Poliakov, 1915) | 1 | LC | 22, 26, 31, 34 | 52, 63 | 1 |
| Отряд Журавлеобразные (*Gruiformes*) | | | | | | |
| 57 | Японский, или уссурийский, журавль *(Grus japonensis* P.L.S. Muller, 1776) | 1 | EN | 22, 26, 31 | 63 | 4 |
| 58 | Стерх (*Grus leucogeranus* Pallas, 1773) | 1 – обская популяция, 3 – якутская | CR | 5, 7, 10, 11 | – | 7 |
| 59 | Даурский журавль (*Grus vipio* Pallas, 1811) | 1 | VU | 26, 31, 34 | 52 | 5 |
| 60 | Черный журавль (*Grus monacha* Temminck, 1835) | 3 | VU | 12, 18, 19 | 42, 53, 54, 55, 63 | 5 |
| 61 | Красавка (*Anthropoides virgo* Linnaeus, 1758) | 5 | LC | 30, 32, 33, 34, 35 | 47, 49, 52, 66 | 11 |
| 62 | Красноногий погоныш (*Porzana fusca* Linnaeus, 1766) | 3 | LC | 26 | 64, 65 | 1 |
| 63 | Белокрылый погоныш (*Porzana exquisita* Swinhoe, 1873) | 1 | VU | 26 | 52, 64 | 2 |
| 64 | Рогатая камышница (*Gallicrex cinerea* Gmelin, 1789) | 4 | LC | – | 56, 63, 64, 65 | 2 |
| 65 | Султанка (*Porphyrio porphyrio* Linnaeus, 1758) | 3 | LC | 35 | – | 3 |
| 66 | Дрофа, европейский подвид (*Otis tarda tarda)* Linnaeus, 1758) | 3 | VU | 30, 32, 33, 35 | 47, 59, 66 | 6 |
| 67 | Дрофа, восточно-сибирский подвид (*Otis tarda* dubowskii) Taczanowski, 1874) | 2 | VU | 31, 34 | 49, 52, 64, 66 | 4 |
| 68 | Стрепет (*Tetrax tetrax* Linnaeus, 1758) | 3 | NT | 32, 33, 35 | – | 8 |
| 69 | Джек (*Chlamydotis undulata* Jacquin, 1784) | 1 | VU | – | 66 | 1 |

**Продолжение таблицы 1.**

| № | Название вида | Категория по Красной книге РФ | Категория по Красно книге МСОП | Биомы | | Количество заповед-ников |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Равнинные | Горные | |
| Отряд Ржанкообразные (*Charadriiformes*) | | | | | | |
| 70 | Авдотка (*Burhinus oedicnemus* Linnaeus, 1758) | 4 | LC | 15, 29, 32, 33, 35 | 57, 58, 59, 60, 61 | 10 |
| 71 | Южная золотистая ржанка (*Pluvialis apricaria apricaria)* Linnaeus, 1758) | 3 | LC | 23, 27 | – | 1 |
| 72 | Уссурийский зуек (*Charadrius placidus* J.E. et G.R. Gray, 1863) | 3 | LC | 26, 31 | 63, 64 | 3 |
| 73 | Каспийский зуек (*Charadrius asiaticus* Pallas, 1773) | 3 | LC | 32, 33, 35 | – | 3 |
| 74 | Кречетка (*Chettusia gregaria* Pallas, 1771) | 1 | CR | 28, 30, 33 | 62 | 4 |
| 75 | Ходулочник (*Himantopus himantopus* Linnaeus, 1758) | 3 | LC | 26, 29, 32, 33, 34, 35 | 64, 66 | 11 |
| 76 | Шилоклювка (*Recurvirostra avosetta* Linnaeus, 1758) | 3 | LC | 29, 30, 32, 33, 34, 35 | 47, 49, 57, 58, 59, 60, 61, 66 | 9 |
| 77 | Кулик-сорока, материковый подвид (*Haematopus ostralegus longipes* Buturlin, 1910) | 3 | NT | 10, 11, 15, 16, 23, 24, 27, 28, 29, 32, 33, 35 | 60, 62 | 5 |
| 78 | Кулик-сорока, дальневосточный подвид (*Haematopus ostralegus osculans* Swinhoe, 1871) | 4 | NT | 8, 14, 26, 31 | 40, 44, 55, 56, 63, 64 | 1 |
| 79 | Охотский улит (*Tringa guttifer* Nordmann, 1835) | 1 | EN | 20 | 55 | 2 |
| 80 | Лопатень (*Eurynorhynchus pygmeus* Linnaeus, 1758) | 3 | CR | 4, 8 | 39, 40 | 2 |
| 81 | Чернозобик, балтийский подвид (*Calidris alpina schinzi* C.L. Brehm, 1822) | 1 | LC | 15, 23, 27 | – | 1 |
| 82 | Японский бекас (*Gallinago hardwickii* Gray, 1831) | 3 | LC | – | 63, 64, 65 | 3 |
| 83 | Тонкоклювый кроншнеп (*Numenius tenuirostris* Vieillot, 1817) | 1 | CR | 30, 33 | – | 1 |
| 84 | Большой кроншнеп (*Numenius arquata* Linnaeus, 1758) | 2 | NT | 16, 23, 24, 27, 28, 32, 30, 33 | 45, 62 | 13 |
| 85 | Дальневосточный кроншнеп (*Numenius madagascariensis* Linnaeus, 1766) | 2 | EN | 8, 14, 18, 19, 21, 22, 26, 31 | 40, 42, 44, 46, 50-56, 63, 64 | 2 |
| 86 | Азиатский бекасовидный веретенник (*Limnodromus semipalmatus* Blyth, 1848) | 3 | NT | 17, 21, 22, 25, 26, 30, 31, 33, 34 | 47, 48, 49, 50, 51, 52, 63, 66 | 3 |
| 87 | Степная тиркушка (*Glareola nordmanni* Nordmann, 1842) | 2 | NT | 27, 32, 33, 35 | –- | 9 |

**Продолжение таблицы 1.**

| № | Название вида | Категория по Красной книге РФ | Категория по Красно книге МСОП | Биомы | | Количество заповед-ников |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Равнинные | Горные | |
| 88 | Черноголовый хохотун (*Larus ichthyaetus* Pallas, 1773) | 5 | LC | 29, 30, 32, 33, 35 | – | 8 |
| 89 | Реликтовая чайка (*Larus relictus* Lonnberg, 1931) | 1 | VU | 34 | – | 1 |
| 90 | Чеграва (*Hydroprogne caspia* Pallas, 1770) | 3 | LC | 15, 29, 32-35 | 51, 52 | 9 |
| 91 | Малая крачка (*Sterna albifrons* Pallas, 1764) | 2 | LC | 15-17, 23-30, 32, 33, 35 | 55, 60, 63, 64 | 12 |
| 92 | Азиатский длинноклювый пыжик (*Brachyramphus marmoratus perdix* Pallas, 1764) | 3 | EN | 8, 20 | 44, 53, 55, 56, 63, 64, 65 | 1 |
| Отряд совообразные (*Strigiformes*) | | | | | | |
| 93 | Филин (*Bubo bubo* Linnaeus, 1758) | 2 | LC | 9-12, 15-35 | 43-55, 57-66 | 21 |
| 94 | Рыбный филин (*Ketupa blakistoni* Seebohm, 1884) | 1 | EN | 22, 26, 31 | 44, 53, 54, 55, 63, 64, 65 | 1 |
| Отряд Ракшеобразные (*Coraciiformes*) | | | | | | |
| 95 | Ошейниковый зимородок (*Halcyon pileata* Boddaert, 1783) | 3 | LC | – | 64 | 2 |
| Отряд Дятлообразные (*Piciformes*) | | | | | | |
| 96 | Европейский средний дятел (*Dendrocopos medius medius* Linnaeus, 1758) | 2 | LC | 23, 27 | – | 5 |
| 97 | Рыжебрюхий дятел (*Dendrocopos hyperythrus* Vigors, 1831) | 4 | LC | 26 | – | 1 |
| Отряд Воробьинообразные (*Passeriformes*) | | | | | | |
| 98 | Монгольский жаворонок (*Melanocorypha mongolica* Pallas, 1776) | 2 | LC | 34 | 49, 66 | 2 |
| 99 | Обыкновенный серый сорокопут (*Lanius excubitor excubitor* Linnaeus, 1758) | 3 | LC | 5, 9, 10, 11, 15, 16, 17, 23, 24, 27 | 41, 45 | 8 |
| 100 | Японская камышевка (*Megalurus pryeri* Seebohm, 1884) | 4 | NT | 26, 34 | 48 | 3 |
| 101 | Вертлявая камышевка (*Megalurus paludicola* Vieillot, 1817) | 4 | VU | 17, 23, 24, 25, 27, 28, 30, 32, 33 | 45, 62 | 1 |
| 102 | Райская мухоловка (*Terpsiphone paradisi* Linnaeus, 1758) | 3 | LC | 26 | 64 | 1 |
| 103 | Большой чекан (*Saxicola insignis* Gray, 1846) | 1 | VU | – | 66 | 1 |
| 104 | Тростниковая сутора (*Paradoxornis polivanovi* Stepanyan, 1974) | 3 | NT | 26 | – | 1 |

**Продолжение таблицы 1.**

| № | Название вида | Категория по Красной книге РФ | Категория по Красно книге МСОП | Биомы | | Количество заповед-ников |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Равнинные | Горные | |
| 105 | Европейская белая лазоревка (*Parus cyanus cyanus* Pallas, 1770) | 4 | LC | 15, 16, 23, 24, 27, 28, 33 | – | – |
| 106 | Косматый поползень (*Sitta villosa* Verreaux, 1865) | 2 | LC | – | 64 | – |
| 107 | Овсянка Янковского (*Emberiza jankowskii* Taczanowski, 1888) | 1 | EN | – | 64 | – |

**Примечания к таблице.** Категории и статусы по Красной книге МСОП (IUCN, 2018): EX – исчезнувшие, EW – (исчезнувшие в дикой природе), CR – в критическом состоянии, EN – в опасном состоянии, VU – уязвимые, NT – в состоянии, близком к угрожаемому, LC – вызывающие наименьшие опасения. Категории и статусы по Красной книге РФ (2001): 0 – вероятно исчезнувшие, 1 – под угрозой исчезновения, 2 – сокращающиеся в численности, 3 – редкие, 4 – неопределенные по статусу, 5 – восстанавливаемые и восстанавливающиеся.

## Результаты и обсуждение

Из 118 таксонов (видов и подвидов) птиц, включенных в «Красную книгу Российской Федерации» (2001), 107 обитает в семиаридных и аридных регионах. Количество охраняемых видов на порядок выше в семиаридных и аридных региональных биомах по сравнению с умеренными (рис. 1). Максимальное количество охраняемых видов отмечено на территории Причерноморско-Предкавказского (рис. 1, №32) и Заволжско-Кулундинского степного биомов (№33) – по 37 видов. Большое количество видов птиц и на территории биомов Сихотэ-Алиньского южного (№64) – 34 вида и Прикаспийского пустынного опустыненных степей и северных пустынь (№35) – 31 вид. Эти данные свидетельствуют о высоком природоохранном значении семиаридных и аридных территорий в настоящее время. Оценка разного количества редких видов в региональных биомах Российской Федерации может быть использована в дальнейшем для разработки обоснованных рекомендаций и организации особо охраняемых природных территорий (заповедников). Из 107 видов 50 находятся под угрозой исчезновения или сокращают свою численность (табл. 1). В Красную книгу МСОП (IUCN, 2018) занесены 16 видов, находящихся в критическом и опасном состоянии.

В настоящее время совершенно очевидно, что только в заповедниках обеспечивается реальная охрана как местообитаний, так и самих редких видов, поэтому важно установить не только вид или группу видов, обитающих на заповедных территориях, но и выявить те редкие виды, которые слабо или вовсе лишены этого уровня охраны (Емельянова, 2010; Емельянова, Тарасова, 2018).

Соотнесение ареалов редких видов млекопитающих и птиц со схемой биомов РФ (Биомы …, 2015) и анализ расположения заповедников, т.е. ООПТ с наиболее строгим режимом охраны (Информационно-аналитическая ..., 2018; Каталог …, 2018), показали, что заповедники есть в пределах ареалов 104 видов птиц из 107. Однако следует учесть, что максимальное количество видов птиц обитает в тех региональных биомах, где заповедников явно недостаточно для достижения высокого охранного уровня. В биомах с максимальным количеством охраняемых видов их два: в Причерноморско-Предкавказском (№32) это заповедники «Приволжская лесостепь» и «Ростовский государственный заповедник». В Заволжско-Кулундинском степном биоме (№33), где, как и в вышеназванном, обитает 37 видов, их четыре: Алтайский, Оренбургский, Башкирский и Жигулевский, и они распределены по территории неравномерно. В биоме №35 (Прикаспийский пустынный опустыненных степей и северных пустынь) с 31 видом птиц функционирует три заповедника: Астраханский, Черные земли и Дагестанский. Основательно обеспечены охраной редкие виды на юге Дальнего Востока, где на относительно небольшой площади Сихотэ-Алиньского южного (№64) и Амуро-Уссурийского подтаежного (№26) биомов расположено шесть заповедников. На их территориях отмечено обитание большого количества редких видов – 34 и 30 соответственно.

Три вида птиц, обитающие на территории аридных и семиаридных региональных биомов России, не обеспечены охраной на уровне заповедников (табл. 2).

Только один заповедник находится в пределах ареалов десяти видов, находящихся под угрозой

исчезновения: красноногий ибис, хохлатая пеганка, манчжурская бородатая куропатка, джек, балтийский чернозобик, тонкоклювый кроншнеп, реликтовая чайка, рыбный филин, большой чекан.

**Таблица 2.** Виды птиц Красной книги РФ, не обеспеченные охраной на уровне заповедников, на территории аридных и семиаридных биомов.

| Название вида | Категория по Красной книге РФ (2001) | Категория по Красной книге МСОП (IUCN, 2018) | Равнинные биомы | Горные биомы |
|---|---|---|---|---|
| Европейская белая лазоревка (*Parus cyanus cyanus* Pallas, 1770) | 4 | LC | 15, 16, 23, 24, 27, 28, 33 | – |
| Косматый поползень (*Sitta villosa* Verreaux, 1865) | 2 | LC | – | 64 |
| Овсянка Янковского (*Emberiza jankowskii* Taczanowski, 1888) | 1 | EN | – | 64 |

## Выводы

Проведена количественная оценка охраняемых видов птиц в региональных биомах России на основе созданной обзорной карты.

Анализ обзорной карты показал, что из 118 видов птиц, занесенных в Красную книгу Российской Федерации, 107 обитают на территории аридных и семиаридных биомов России.

В аридных и семиаридных региональных биомах отмечено обитание максимального количества охраняемых видов птиц в сравнении с другими биомами Российской Федерации – от 21 до 37 видов в разных биомах.

Установлена группа редких видов, не обеспеченных и слабо обеспеченных охраной на уровне заповедников в пределах аридных и семиаридных региональных биомов России.

Оценка разного количества редких видов птиц в региональных биомах Российской Федерации может быть использована в дальнейшем для разработки обоснованных рекомендаций и организации особо охраняемых природных территорий (заповедников).

*Благодарности*. Автор выражает искреннюю признательность К.В. Захарову и С.А. Тарасовой за помощь и полезные рекомендации при подготовке работы к изданию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Биомы России. 2015. Карта. Масштаб 1:7500000. М.: Финансовый и организационный консалтинг. 2 л.

*Емельянова Л.Г.* 2010. Фауна наземных млекопитающих России: антропогенная трансформация и проблема сохранения редких видов. Наука о Земле: геоэкология. М.: Книжный дом «Университет». С. 315-331.

*Емельянова Л.Г., Тарасова С.А.* 2016. Анализ распространения и уровня охраны редких видов млекопитающих России. Хартия Земли – практический инструмент решения фундаментальных проблем устойчивого развития. Казань. С. 139-141.

*Емельянова Л.Г., Тарасова С.А.* 2018. Редкие виды млекопитающих аридных и семиаридных региональных биомов России: распределение и охрана // Аридные экосистемы. Т. 24. № 1 (74). С. 37-41.

Информационно-аналитическая система. 2018. «Особо охраняемые природные территории России» [Электронный ресурс http://oopt.aari.ru (Дата обращения 15.05.2018)].

Каталог особо охраняемых природных территорий России. 2018. [Электронный ресурс http://news.zapoved.ru/katalog-oopt (Дата обращения 15.05.2018)].

Красная книга Российской Федерации. 2001. М.: Астрель. 862 с.

*Штильмарк Ф.Р.* 2006. Отчет о прожитом. М.: Логата. 576 с.

*Ando A., Camm J., Polasky S., Solow A.* 1998. Species Distribution, Land Values and Efficient Conservation // Science. No. 279. P. 2126.

IUCN. 2018. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2018. [Электронный ресурс https://www.iucnredlist.org/ (Дата обращения 15.05.2018)].

*Jenkins C., Joppa L.* 2009. Expansion of the Global Terrestrial Protected Area System // Biological Conservation. No. 142. P. 2166-2174.

*Joppa L.N., Pfaff A.* 2009. High and Far: Biases in the Location of Protected Areas // PLoS ONE 4 (12). P. e8273.

*Rodriges A., Andelman S., Bakkar M., Boitani L., Brooks T.* 2004. Effectiveness of the Global Protected Area Network in Representing Species Diversity // Nature. No. 428. P. 640-643.

*АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2019, том 25, № 1 (78), с. 79-87*

**ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

*УДК 556.55*

# МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА И СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОХИМИИ БАССЕЙНА ОЗ. ИССЫК-КУЛЬ (КЫРГЫЗСТАН)[1]

**© 2019 г. Т. Асанкулов*, **, ***, Ц. Абудувайли*, **, Г. Исанова****, *****, ******, М. Лонг*, **, Э. Дуулатов*, ****

**Синьцзянский институт экологии и географии АН КНР,*
*Научно-исследовательский центр экологии и окружающей среды Центральной Азии АН КНР*
*Китай, 830011, Синьцзян, Урумчи, Саут Бейджин Роад, д. 818.*
*E-mail: agamprit@gmail.com, jilil@ms.xjb.ac.cn*
***Университет Академии наук Китая*
*Китай, 100049, Пекин, район Шицзиншань, Юцюань Роад, д. 19(А)*
****Институт геологии им. М.М. Адышева НАН РК*
*Республика Кыргызстан, 720040, г. Бишкек, пр-т. Эркиндик, д. 30*
*****Научно-исследовательский центр экологии и окружающей среды Центральной Азии*
*Республика Казахстан, 050060, г. Алматы, Бостандыкский район, пр-т Аль-Фараби, д. 75в*
******Казахский национальный университет им. Аль-Фараби,*
*факультет географии и природопользования*
*Республика Казахстан, 050040, г. Алматы, пр-т Аль-Фараби, д. 71*
*******Казахский национальный педагогический университет им. Абая,*
*Институт естествознания и географии,*
*Республика Казахстан, 050010, г. Алматы, пр-т Достык, д. 71*

Поступила в редакцию 09.02.2018. После доработки 16.04.2018. Принята к публикации 16.05.2018.

Озеро Иссык-Куль является одним из крупнейших высокогорных и солоноватых озер континентального происхождения. Оценка и анализ многолетней динамики химического состава воды его бассейна проведены, согласно данным за 1932, 1977 и 1986 гг. Средняя многолетняя динамика солености воды определялась по данным за 1928, 1960, 1980, 2000 и 2014 гг. Преобладающими ионами воды озера являются сульфаты, хлориды, натрий и магний. Из катионов преобладают $Na^+$ и $Mg^+$, а из анионов – Cl- и $SO_4^{2-}$. В химическом составе преобладают сульфаты, поэтому вода озера относится к сульфатному классу и хлоридно-сульфатно-натриево-магниевому типу минерализации. Вода в озере обладает щелочной реакцией, и в 2015 г. ее pH находился в пределах 7.95-8.82. Соленость воды озера Иссык-Куль составляла 6.22 г/л. Изучение гидрохимии природных вод имеет огромное практическое значение для различных отраслей экономики, так как химический состав воды учитывается при употреблении природных вод для всех видов водоснабжения и водопользования. Значение гидрохимических исследований возрастает также в связи с увеличением загрязнения водоемов и антропогенной деятельности.

*Ключевые слова:* Иссык-Куль, озеро, гидрохимия, ион, соленость, Кыргызстан.
**DOI: 10.24411/1993-3916-2019-00047**

Иссык-Куль – одно из крупнейших высокогорных озер континентального происхождения, оно отличается глубиной, благодаря чему вмещает огромное количество воды, большее, чем Аральское море, но при этом его особенностью является удивительная однородность воды как по акватории, так и по глубине, на что указывает относительное постоянство удельного веса, солености и химического состава (Кадыров, 1986).

Водные ресурсы бассейна озера Иссык-Куль представлены самим бессточным озером,

[1] Исследование выполнено при финансовой поддержке National Natural Science Foundation of China (U1603242; 41471173) и Science and Technology Service Network Initiative (Y838031).

многочисленными впадающими в него реками и подземными водами. Природные воды представляют собой динамичную химическую систему, содержащую в своем составе сложный комплекс газов, минеральных и органических веществ в виде растворов, а также взвесей и коллоидов. Эта система зависит не только от условий окружающей среды, но и от различных процессов, протекающих как вне, так и непосредственно внутри водного объекта. Знание химического состава воды имеет огромное практическое значение для развития различных отраслей экономики, химический состав необходимо учитывать при использовании природных вод для всех видов водоснабжения и водопользования (питьевого, хозяйственно-бытового, промышленного, сельскохозяйственного, транспортного). Изучение качественного и количественного химического состава природных вод (гидрохимии) позволяет определить возможность их практического применения для повышения продуктивности организмов. Значение гидрохимических исследований возрастает также в связи с увеличением загрязнения водоемов и антропогенной деятельностью.

Изучения условий, в которых формируется химический состав воды в бассейне озера Иссык-Куль, проводились многими учеными и исследователями, такими как К. Шмидт (1882), В.П. Матвеев (1930), В.К. Кадыров (1986). Однако результаты гидрохимических исследований отличались друг от друга. Также были изучены качества использования воды озера и рек бассейна Иссык-Куль такими исследователями, как Y. Kawabata с соавторами (2014), B. Alymkulova с соавторами (2016), S. Abdyzhapar с соавторами (2015). В обзоре гидрохимических исследований бассейна озера Иссык-Куль необходимо отметить крайнюю недостаточность и ограниченность работ, проводившихся ранее в этом направлении.

*Целью данного исследования* является оценка и анализ основных изменений химического состава воды озера и рек и солености озера, а также современное состояние водных ресурсов бассейна Иссык-Куль.

## Район исследования

Иссык-Куль – бессточное озеро на Северном Тянь-Шане в северо-восточной части Кыргызстана, одно из крупнейших горных озер мира. Расположено на высоте 1608 м н.у.м. БС в межгорной Иссык-Кульской котловине между хребтом Кунгей-Ала-Тоо на севере и хребтом Терскей-Ала-Тоо на юге (рис. 1). Озеро имеет тектоническое происхождение и образовалось вследствие разломов, сбросов и прогибов земной поверхности; его обширная часть опустилась и заполнилась водой, в то время как соседние участки поднялись на 3000-3500 м над уровнем озера. Площадь – 6236 км$^2$, длина – 178 км, наибольшая ширина – 60 км, глубина – до 668 м, средняя глубина – 278 м, объем – 1738 км$^3$. В Иссык-Куль впадает свыше 50 рек, общий годовой сток которых превышает 3 км$^3$. Наиболее крупные реки – это Джергалан (средний годовой расход воды в устье – 22 м$^3$/сек) и Тюп. Площадь бассейна Иссык-Куль составляет около 21900 км$^2$ (Забиров, 1963; Asykulov, 2002).

*Климат* Иссык-Куля континентальный. На него влияют рельеф, значительная высота над уровнем моря, большой объем воды озера и его площадь. Постоянное испарение с водной поверхности создает повышенную влажность воздуха в прибрежной зоне. Средняя температура воздуха в январе варьирует от +2 до -3°С. Лето на побережье Иссык-Куля умеренно-теплое. Средняя температура в июле и августе – около 16-17°С. В высокогорной части котловины средняя температура в январе падает до –8-10°С.

Распределение осадков по Иссык-Кульской котловине неравномерно вследствие общей циркуляции атмосферы и возникновения нисходящих течений воздуха на западе и восходящих на востоке. На западном побережье озера выпадает всего 115 мм (Гронская, 1983; Heinicke, 2003; Taft et al., 2011), по направлению с запада на восток их количество возрастает. Осадки выпадают преимущественно в теплый период года. На май-август приходится 50% от их годовой суммы, на декабрь-февраль – 10%. В западной части максимум осадков наблюдается в июне-июле, минимум – с декабря по февраль. Среднемесячные величины относительной влажности воздуха западного и южного побережья составляют 54-64%, северного – 62-73%, склонов котловины – 60-74%.

## Материалы и методы

Многолетняя и средняя динамика химического состава воды бассейна озера Иссык-Куль определена по данным за 1932, 1977 и 1986 гг. Эти данные были обеспечены Управлением экологического мониторинга государственного агентства охраны окружающей среды и лесного

хозяйства при правительстве Кыргызской Республики, Институт водных проблем. Кроме того, в данной работе использованы результаты исследований химического состава воды, проведенных в 2014 году Институтом экологии и географии (Синьцзян, Урумчи).

Для гидрохимической характеристики рек (притоков озера) и побережья озера использованы результаты анализов за 1986 и 2014 гг. Сезонная динамика изменения минерализации вод рек определялась, согласно данным за 1986 г. Средняя многолетняя соленость воды – по данным за 1928, 1960, 1980, 2000 и 2014 гг. Для детального отображения гидрологической сети бассейна Иссык-Куль использовалось программное обеспечение Arc Map.

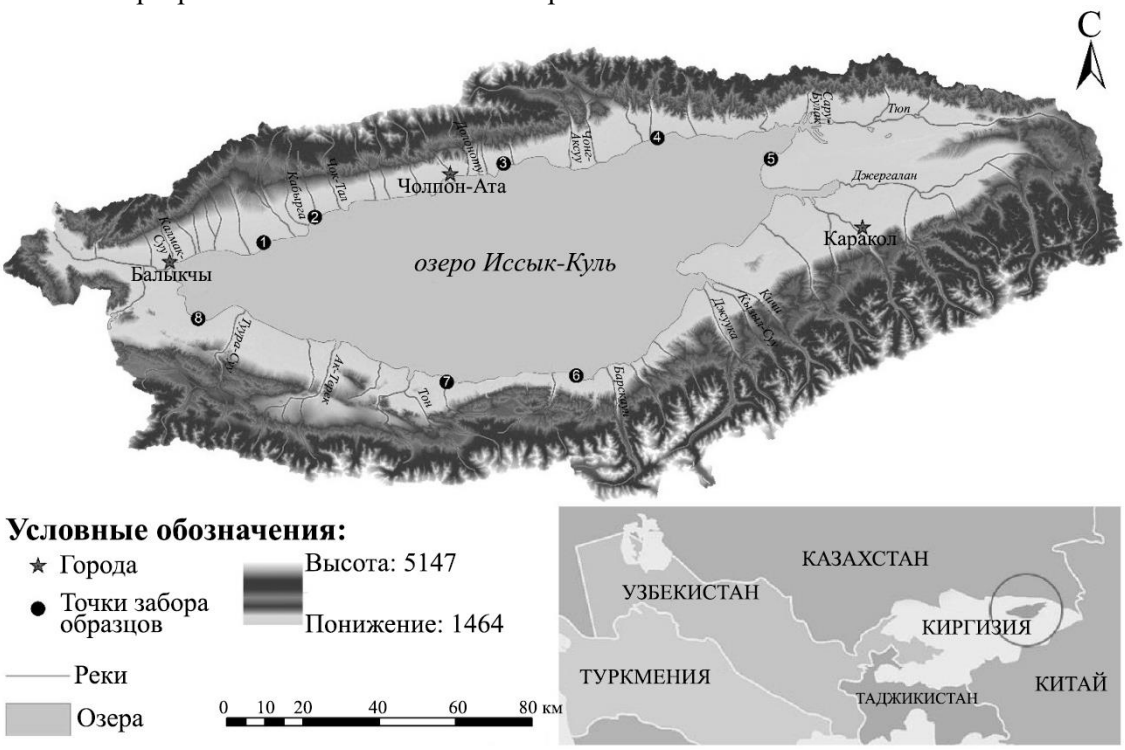



**Рис. 1.** Район исследования – Бассейн оз. Иссык-Куль.

## Результаты и обсуждение

*Химический состав воды озера.* Анализирован средний многолетний химический состав воды открытой части озера Иссык-Куль (рис. 2а). Согласно результатам исследования, озеро относится к солоноватым водоемам. Соленость воды составляет 6.22 г/л, и, таким образом, является самым большим соленым озером Земли: соленость Каспийского моря достигает 13 г/л, Аральского –12.5 г/л, восточной части озера Балхаш – 5.2 г/л, Мирового океана – 35.1 г/л (Романовский и др., 2014).

В местных водах в больших количествах содержатся сульфаты и хлориды (рис. 2а). Вода относится к сульфатному классу, сульфаты слегка преобладают над хлоридами. Вода открытой части озера характеризуется равномерным распределением главных ионов как по акватории, так и глубине, что является одной из отличительных гидрохимических особенностей озера, а также признаком хорошей вертикальной и горизонтальной циркуляции воды, постоянно действующими разнонаправленными ветрами, бессточностью озера, малой величиной речного стока относительно объема водной массы и других факторов.

Это отличает Иссык-Куль от других крупных водоемов. Они распределены более или менее равномерны. В результате того, что активность концентрация ионов уменьшается, концентрация сульфата становится выше.

Содержание ионов показывает, что при различных величинах минерализации в прибрежных зонах и заливах из катионов преобладают $Na^+$ и $Mg^+$, из анионов – $Cl^-$ и $SO_4^{2-}$ (рис. 2в), pH воды варьировал от 8.69 до 8.75 (Кадыров, 1986). Вода в озере обладает щелочной реакцией, в 2015 году pH находился в пределах 7.95-8.82. Величина общей щелочности обусловлена главным образом содержанием $HCO_3^-$ и частично – ионов $CO_3^{2-}$. Концентрация других ионов, влияющих на щелочность

воды ($H_2BO_3$, $HPO_4^{2-}$, $H_2PO_4^-$, $HSiO_3$), очень мала (Кадыров, 1986). Концентрация $HCO_3^-$ и $CO_3^{2-}$ зависит от величины минерализации воды и $CO_2$.

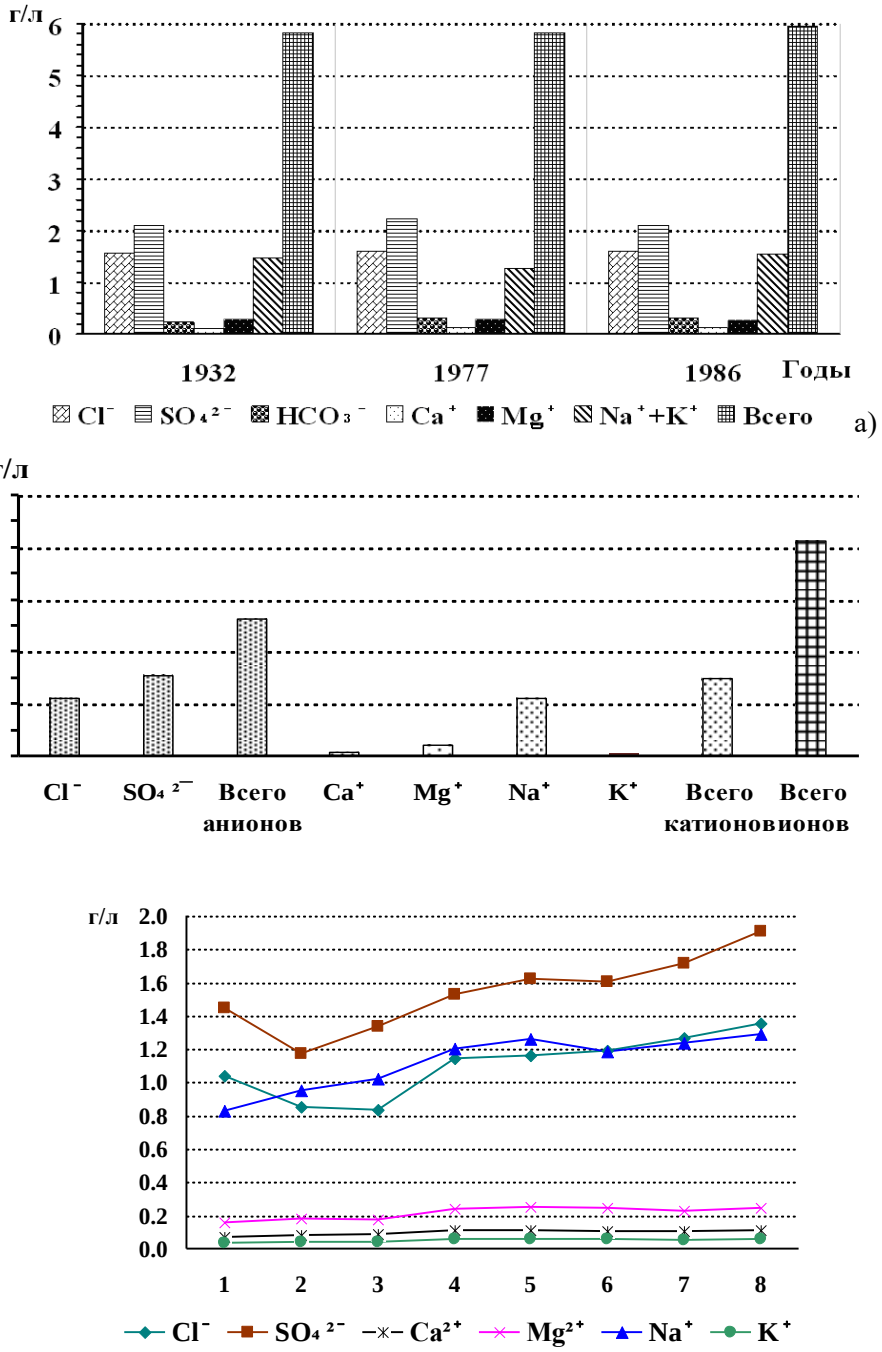



**Рис. 2.** Средний многолетний химический состав воды озера (а), химический состав воды побережья озера (б), среднее значение химических элементов в воде озера в 2014 году (в).

Содержание главных ионов натрия и калия в водах озера в 1986 году немного повысилось по сравнению с 1932 годом. Незначительное изменение содержания ионов хлора, сульфата и других, а также минерализации как по акватории, так и глубине в открытой части озера указывает на наличие хорошего водообмена между его отдельными участками и на распространение вертикальной циркуляции водных масс до самого дна.

*Гидрохимия побережья.* Химический состав воды прибережной зоны озера неоднороден (рис. 2б). Обособленность некоторых зон – своеобразный водный и термический режим, а также совокупность физико-географических и гидрологических факторов влияют на химический состав воды. На

побережьях в озера впадают реки, которые несут большое количество взвешенных наносов. Вследствие этого величина минерализации заметно уменьшается. Таким образом, минерализация воды в заливе и побережье от устья реки в сторону открытой части озера постепенно возрастает. То есть в побережьях озера минерализация воды ниже, чем в открытой части озера. Например, химический состав воды в открытой части озера составляет: $Cl^-$ – 1.5 г/л, $SO_4^{2-}$ – 2.1 г/л, $Na^+ + K^+$ – 1.5 г/л, тогда как у побережья $Cl^-$ – 1.1 г/л, $SO_4^{2-}$ – 1.5 г/л, $Na^+ + K^+$ – 1.2 г/л.

Величина минерализации северного побережья (2.3 точки) ниже, чем у других заливов и побережий, минерализация близка к открытой части озера (рис. 2б). Однако восточные и южные побережья характеризуются высокой минерализацией. Это связано с развитием земледелия (прежде всего с сельскохозяйственной мелиорацией в прибережной зоне) и поступлением в озера подземных вод с высоким содержанием хлоридных, сульфатных и натриевых ионов (Куцева, 1980).

Для воды прибережной зоны средние величины хлорных коэффициентов всегда больше, чем в открытой части озера, особенно для ионов кальция и гидрокарбонатов, содержание которых резко понижается с повышением минерализации воды, что свидетельствует о влиянии речных вод. Увеличение концентрации $Ca^-$ и $Cl^-$ в прибережной зоне объясняется разбавлением озерной воды речными водами (Кадыров, 1986). Хотя влияние речного стока не нарушает порядок ионных соотношений воды заливов, везде сохраняется один и тот же тип – хлоридно-сульфатно-натриевый.

*Химический состав воды рек*. На химический состав речных вод бассейна оз. Иссык-Куль влияет низкая температура воздуха и воды, обилие атмосферных осадков, промытости почвенного покрова от легкорастворимых солей, различные типы питания рек и широкое распространение кристаллических пород (Кадыров, 1986). Эти воды имеют различную минерализацию, что обусловлено своеобразием физико-географических условий отдельных бассейнов и различием в степени увлажненности территории (годовое количество осадков увеличивается с запада на восток). Степень опреснения и минерализация озерной воды зависит от наличия и величины речного стока, от их морфологических особенностей и обмена воды с открытой частью озера (Кадыров, 1986).

Реки бассейна представляют собой типичные высокогорные водотоки. Непосредственно в озеро выпадает около 56 рек и ручьев. По распределению внутригодового стока большинство Иссык-Кульских рек классифицируется как реки ледниково-снегового питания с максимальным половодьем в июле. В западной части бассейна речная сеть развита слабо, в средней и восточной части она более густая, реки многоводнее (рис. 1). Самая крупная река – Джыргалан. Вторая по величине – Тюп.

Анализирован средний химический состав воды притоков озера Иссык-Куль. В гидрохимическом отношении реки бассейна рассматриваются по отдельным районам, что связано с различием природных факторов, влияющих на формирование химического состава воды. Северными притоками озера являются реки от Кабырги до Сары-Булака, река Чон-Ак-Суу – самая крупная в этом районе. Наибольшей минерализацией северных притоков озера характеризуется вода р. Четки-Долоноту, наименьшей – р. Орто-Кой-Суу (рис. 3а). В химическом составе воды рек преобладает кальций, а концентрация остальных ионов небольшая.

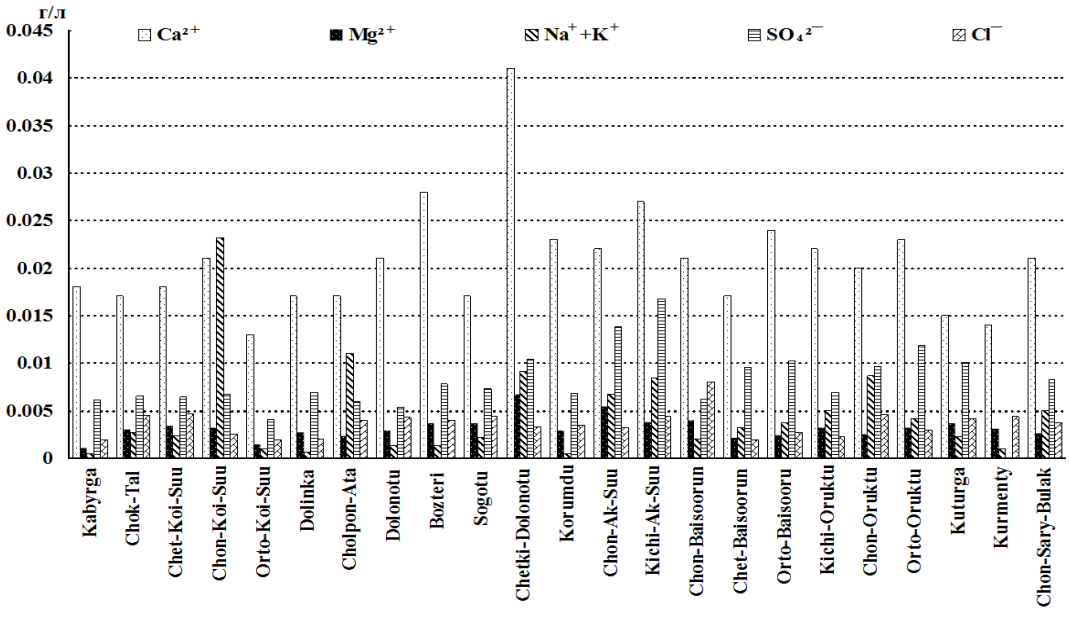
Среди южных притоков наибольшая минерализация у рек Ак-Терек, Ак-Сай, Кичи-Жаргылчак и Сары-Булак (рис. 3б). Реки Жуука, Ак-Терек и Барскоон являются самыми крупными реками южного притока озера. Химический состав воды представлен в основном ионам кальция. Концентрация остальных ионов мала. В отдельных случаях в различные сезоны года ионизация меняется.

Минерализация западных притоков озера повышена по сравнению с реками северных и южных притоков. Это связано с засушливым климатом в данном районе бассейна. Наиболее минерализованной является вода р. Туура-Суу, а наименее – р. Талды-Булак (рис. 3г).

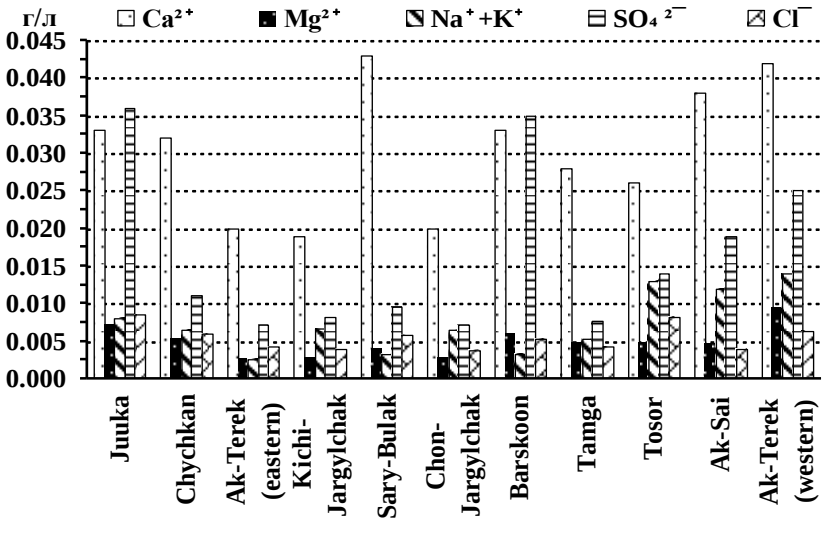
Химический состав воды восточных притоков гораздо выше, чем других районов озера (рис. 3в). В восточном районе сосредоточены наиболее крупные реки бассейна озера Иссык-Куль от р. Тюпа до р. Кичи-Кызыл-Суу. Минерализация и содержание главных ионов воды рек различны. Однако в химическом составе воды рек преобладают $Ca^{2+}$ и $SO_4^{2-}$ (рис. 3).

Наибольшую концентрацию ионов имеют реки Ак-Суу, Джыргалан, Джуука, Чон-Жаргылчак и Тюп, в них содержание $SO_4^{2-}$, $Cl^-$, $Na^+$, выше, чем в других реках (рис. 3е).

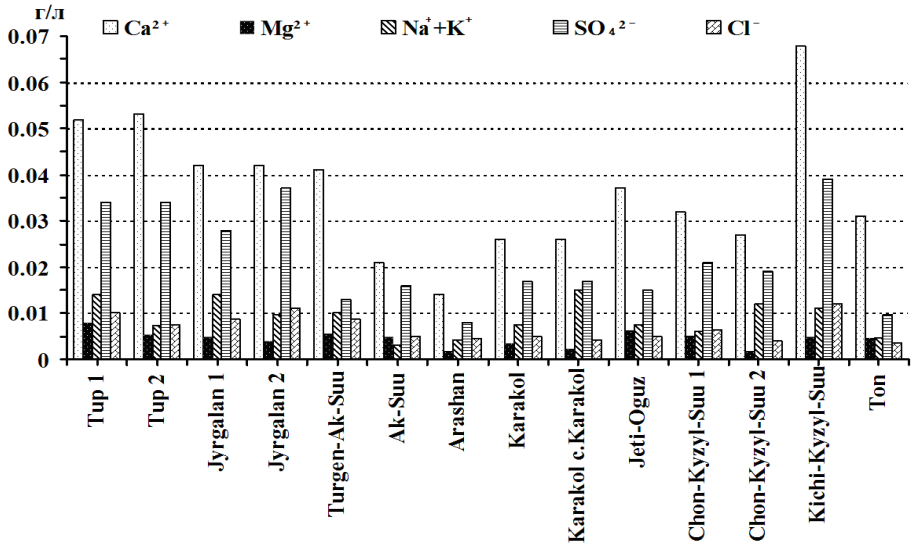
Воды этих рек характеризуются повышенной минерализацией по сравнению с другими реками, что, по-видимому, обусловлено большой протяженностью рек в этих районах котловины и их протеканием по осадочным породам, также велика роль грунтовых вод. Кроме того, в этих районах развито орошаемое сельское хозяйство. Орошение в области ухудшается из года в год.




а)

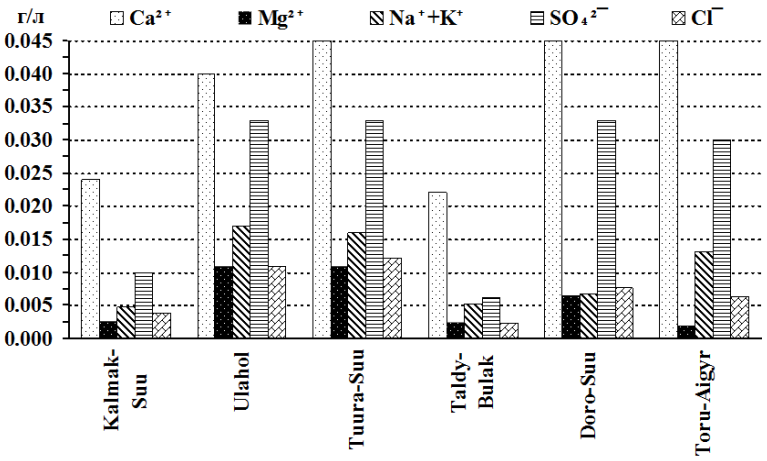



б)

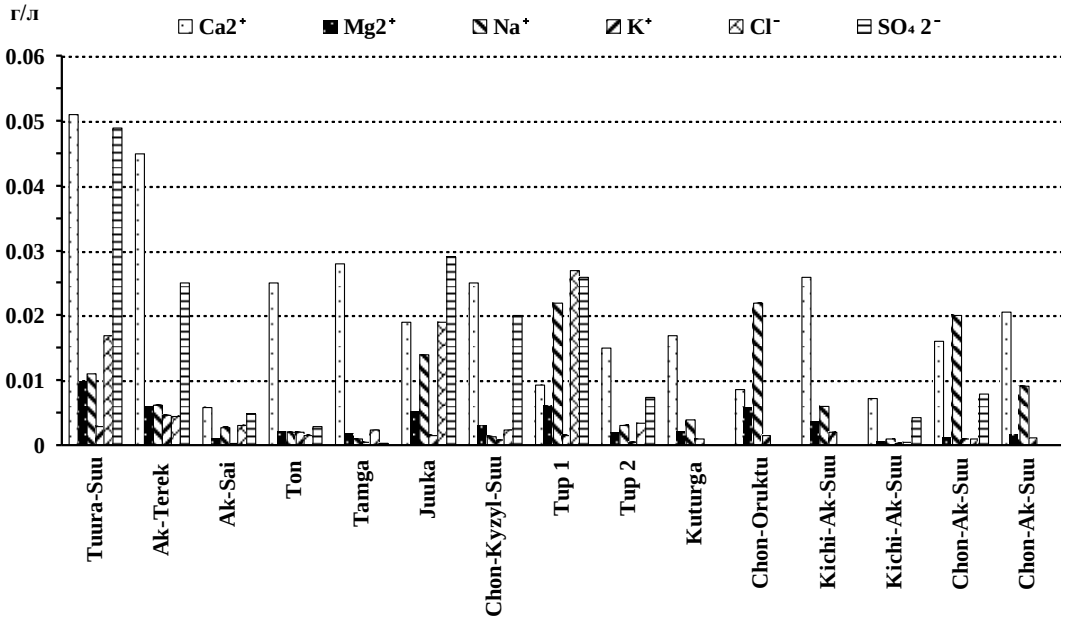



в)

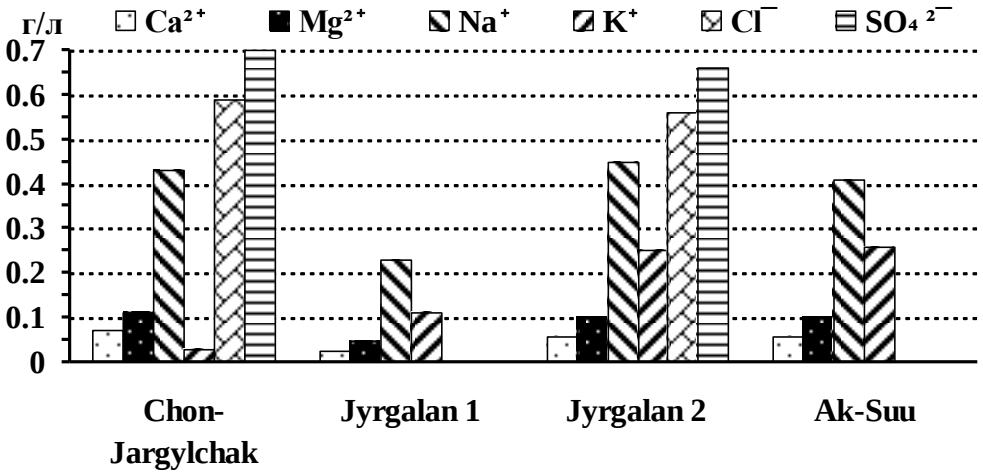
**Рис. 3 а, б, в.** Средний химический состав воды озера Иссык-Куль и химический состав воды рек (2014): а) северные притоки, б) южные притоки, в) восточные притоки.




г)




д)




е)

**Рис. 3 г, д, е.** Средний химический состав воды озера Иссык-Куль и химический состав воды рек (2014): г) западные притоки, д) химический состав воды рек, е) химический состав воды рек.

Основным причинами ухудшения ирригации орошаемых земель являются недостаточная естественная дренированность территории, изначальное отсутствие или разрушение коллекторно-дренажной сети, ненормированный режим орошения, что обусловило повышение уровня грунтовых вод и увеличение минерализации воды. Увеличение количества сульфата, хлорида и натрия происходит из-за поступления в русла реки возвратных вод с орошаемых земель.

Результаты анализов 2014 г. показывают, что в водах отдельных рек (Туура-Суу, Кичи Кызылсуу, Тюп, Ак-Терек) превышены концентрации сульфатов, хлоридов, натрия. Минерализация и содержание главных ионов различны. Воды восточных, южных и западных притоков характеризуются повышенной минерализацией по сравнению с северными водами (рис. 3д).

По данным 2014 г., реакция вод в реках бассейна нейтральная слабощелочная и щелочная. Величина pH составляет от 7 до 8.50. Вода рек бассейна мягкая и умеренно жесткая. Величина жесткости речных вод бассейна подвержена сезонным изменениям. Наименьшей она бывает в период половодья, наибольшей – в межень. В химическом составе воды отдельных рек преобладают $Ca^{2+}$, $SO_4^{2-}$, $Na^+$ и $Mg^{2+}$. Минерализация воды рек в течение года изменяется в определенной последовательности.

*Сезонная динамика изменения минерализации вод рек и солености воды озера.* На основе полученных за многолетний период аналитических данных рассчитана средняя величина минерализации всех рек по сезонам года. Минерализация воды в течение года изменяется в определенной последовательности. Так, несколько повышенная минерализация наблюдается весной. Летом она наименьшая в связи с таянием ледников, снега и наступлением паводков. В период половодья наблюдаются наименьшие величины минерализации и концентрации главных ионов. Осенью и зимой на реках наблюдается минимальный водный сток, формируемый в основном за счет минерализованных подземных вод (рис. 4а). В период минимальных расходов наблюдается резкое увеличение минерализации и главных ионов.

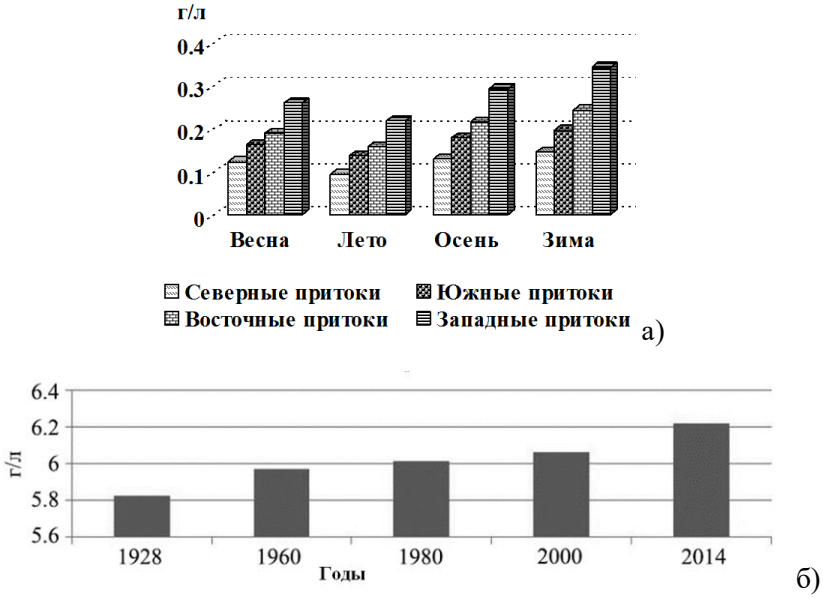



**Рис. 4.** Сезонная динамика изменения минерализации вод рек (а) и изменение солености воды озера с 1928 по 2014 гг. (б).

Солевой баланс озера формируется солями, поступающими с речным стоком, атмосферными осадками, подземными водами, которые в результате выпадают в осадок. Основное количество солей поступает в озеро с подземными водами – 72%, с речными водами – 22%, с атмосферными осадками – 6% (Романовский и др., 2014). На пополнение солевого запаса озера идет половина поступающих солей (49.8%). Оставшаяся часть (50.2%) выпадает в осадок.

Содержание в воде всех растворенных веществ, а не только солей, называется соленостью. Соленость воды озера с 1928 по 2014 гг. увеличилась с 5.82 до 6.22 г/л соответственно (рис. 4б). Увеличение солености воды в озере определяется тем, что приходная часть водного баланса

значительно меньше расходной – испарения. При испарении вынос солей в озере незначителен, происходит накопление солей, выражающееся в увеличении величины минерализации воды.

## Выводы

Изменение химического состава природных вод зависит от времени, химических, физических и биологических процессов и антропогенных факторов (интенсивный туризм, сельское хозяйство). Озеро Иссык-Куль является солоноватым, соленость воды составляет 6.22 г/л. Преобладают в воде сульфаты, хлориды, натрий и магний, причем сульфаты преобладают над хлоридами, что является особенностью континентального происхождения солевого состава озера, питаемого высокогорными реками. Из катионов преобладают ионы натрия и магния. Таким образом, вода в озере относится к хлоридно-сульфатно-натриево-магниевому типу. Помимо прочего у озера щелочная реакция, pH находится в пределах 7.95-8.82. Гидрохимия побережья неоднородна, что связано с его физико-географическими и гидрологическими особенностями, водным и термическим режимами. Минерализация воды у побережий, особенно восточного и южного, ниже, чем в открытой части озера. Это происходит за счет взвешенных наносов, в большом количестве приносимых реками, а также из-за развития земледелия и поступления в озеро подземных вод с высоким содержанием хлоридных, сульфатных и натриевых ионов.

Установлено, что формирование химического состава воды рек бассейна Иссык-Куль подчинено вертикальной поясности, причем их гидрохимический режим зависит от изменения водного режима. Западные притоки минерализованы гораздо выше по сравнению с северными и южными, что связано с засушливым климатом в данном районе бассейна. Химический состав воды восточных притоков гораздо выше, чем в других притоках. Наибольшую концентрацию ионов имеют реки Ак-Суу, Джыргалан, Джуука, Чон-Жаргылчак и Тюп. Это обусловлено тем, что почти все они реки имеют большую протяженность и протекают по осадочным породам. Кроме того, в этих районах развито орошаемое сельское хозяйства. В химическом составе воды рек преобладают $Ca^{2+}$ и $SO_4^{2-}$, а концентрация остальных ионов небольшая.

Минерализация воды рек в течение года изменяется в определенной последовательности: осенью и зимой наблюдается ее резкое увеличение за счет минимального водного стока; а летом – уменьшение из-за таяния ледников, снега и наступления паводков; весной минерализация несколько повышается.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Асыкулов Т.* 2002. Социально-экономическая и природная среда восточного Кыргызстана и проблемы развития. Диссертация на соискание ученой степени PhD. Грайфсвальдский университет, Германия. 123 с.

*Гронская Т.П.* 1983. Водная баланс и ожидаемые уровни воды озера Иссык-Куль // Диссертация Государственного гидрологического института. Ленинград. 190 с.

*Забиров Р.Д.* 1963. Иссык-Куль. Академия наук Киргизкой ССР. Фрунзе. С. 55.

*Кадыров В.К.* 1986. Гидрохимия озера Иссык-Куль и его бассейна. Фрунзе. 211 с.

*Куцева П.П.* 1980. Элементы баланса химических веществ озера Иссык-Куль // Исследования водного баланса, термического и гидрохимического режима озера Иссык-Куль. Ленинград: Гидрометеоиздат. С. 71-78.

*Матвеев В.П.* 1930. Гидрологические и гидрохимические исследования на Иссык-Куле в 1928 г. // Материалы Комиссии экспедиционных исследований Академии наук СССР. Иссык-Кульская экспедиция 1928 года. Ленинград. С. 71-110.

*Романовский В.В., Маматканов Д.М., Кузьмиченок В.А., Подрезов О.А.* 2014. Все об озере Иссык-Куль. Бишкек. 406 с.

*Шмидт К.* 1882. Исследования воды озера Иссык-Куль // Фармацевт. С. 878-884.

*Abdyzhapar uulu S., Abuduwaili J., Shaidyldaeva N.* 2015. Impact of Climate Change on Water Level Fluctuation of Issyk-Kul Lake // Arabian Journal of Geosciences. Vol. 8. P. 5361-5371. DOI: 10.1007/s12517-014-1516-6

*Alymkulova B., Abuduwaili J., Issanova G., Nahayo L.* 2016. Consideration of Water Uses for Its Sustainable Management, the Case of Issyk-Kul Lake, Kyrgyzstan // Water Open Access Journal. 9 p.

*Heinicke T.* 2003. Mires within the Dry Steppe Zone of the Issyk-Kul Basin (Kyrgyzstan). Part 1: Soils, Stratigraphy and Hydrology. Telma. P. 35-58.

*Taft B.J., Philippe L.R., Dietrich C.H., Robertson K.R.* 2011. Grassland Composition, Structure, and Diversity Patterns along Major Environmental Gradients in the Central Tien Shan // Plant Ecology. P. 1349-1361. DOI: 10.1007/s11258-011-9911-5.

*Kawabata Y., Kurita T., Nagai M., Aparin V., Onwona-Agyeman S., Yamada M., Fujii Y., Katayama Y.* 2014. Water Quality in the Issyk-Kul and the River Flowing into It // Journal of Arid Land Studies. No. 24 (1). P. 105-108.

ISSN 1993-3916

**ЖУРНАЛ АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ 2019. Т. 25. № 1 (78)**

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.

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»)**