ISSN 1993-3916

Том 28 Номер 2 (91) Июнь 2022

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

2022

© Журнал основан в 1995 г.
Издается при поддержке
Прикаспийского института биологических ресурсов и
Института геологии Дагестанского научного центра Российской академии наук,
Института водных проблем Российской академии наук,
Товарищества научных изданий КМК
и содействии региональных отделений секции
"Проблемы изучения аридных экосистем и борьбы с опустыниванием"
Научного совета "Проблемы экологии биологических систем"
отделения биологических наук Российской академии наук.
Подписной индекс русской версии журнала 39775 в 1 томе каталога «Пресса России»

Журнал включен в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) ELIBRARY.ru, в базу научной электронной библиотеки “КИБЕРЛЕНИНКА” CYBERLENINCA.ru, в базу Российской государственной библиотеки (РГБ) rsl.ru, в базу данных Библиотеки по естественным наукам Российской академии наук (БЕН РАН), в базу данных Russian Science Citation Index, размещенную на платформе Web of Science, входит в число реферируемых журналов и Базы данных, ВИНИТИ, Google Scholar, AGRICOLA, EBSCO Discovery Service, OCLC, Summon by ProQues, включен в Перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ, передается в Российскую книжную палату, переводится на английский и распространяется издательством Springer за пределами России.
Сведения о журнале ежегодно поступают в международную справочную систему «Ulrich’s Periodicals Directory».
Информация о журнале, правила для авторов располагаются на сайте http://aridecosystems.ru/;
архив полнотекстовых статей по адресам: http://aridecosystems.ru/архивы/; http://elibrary.ru/title_about.asp?id=8404&code=99990527, https://cyberleninka.ru/journal/n/aridnye-ekosistemy#/1009295

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

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

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

Том 28, № 2 (91), 2022, июнь
Журнал основан в январе 1995 г.
Выходит 4 раза в год

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

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

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

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

Ответственные за выпуск:
Ж.В. Кузьмина*, О.С. Гринченко*(*Ответственный секретарь*)

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

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

Москва: Товарищество научных изданий КМК
2022

СОДЕРЖАНИЕ

Том 28, номер 2 (91), 2022 июнь

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Гидроэкологические последствия климатических изменений водного режима весеннего половодья в верховьях р. Арпа
В.Г. Маргарян, Е.В. Гайдукова, Л.В. Азизян, Н.В. Мякишева 3-12

Факторы территориальной дифференциации агроландшафта и перспективы сохранения степей Белгородской области
А.А. Тишков, А.С. Некрич 13-26

Интегрированный подход к оценке и мониторингу состояния лесов на сухих территориях Судана
Н.А.Х.. Гадалла, И.С.А. Таха, А.И.А. Хано, А.А.Х. Сиддиг, Хай Цзян Бо 27-39

Изменение запасов мобильного вещества и термический режим природных и антропогенно измененных почв Назаровской лесостепи
И.Б. Воробьева 40-50

Изотопная подпись почв в диагностике процессов аридизации ландшафтов Дагестана
Н.О. Ковалева 51-61

Тяжелые металлы в почвах степных экосистем западного Забайкалья
Г.Д. Чимитдоржиева, Е.А. Бодеева, Э.О. Чимитдоржиева 62-70

Вариабельность изотопного состава ($^{15}N/^{14}N$ И $^{13}C/^{12}C$) тканей и органов средиземноморских видов почвенных беспозвоночных
Д.И. Коробушкин, К.Б. Гонгальский 71-77

Динамика микробиологического разнообразия почв Чуйской долины при изменении типа землепользования на пастбищах
Н.Э. Тотубаева, К.Т. Шалпыков 78-84

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

Водный потенциал Республики Кыргызстан: проблемы и потенциалы экономического развития
Н.М. Нуралиева 85-93

Прогнозно-эксплуатационные ресурсы подземных вод в предгорном Дагестане
В.М. Кондаков, И.М. Газалиев, Л.М. Курбанова, А.С. Курбанисмаилова, А.Ш. Гусейнова 94-101

Засоление почв в долине Дона в условиях прекращения орошения
И.Н. Горохова, И.Н. Чурсин 102-112

Влияние экспозиции склона на химические и биологические свойства почв земледельческих террас Восточного Кавказа
В.Н. Пинской, И.А. Идрисов, Н.Н. Каширская, М.В. Ельцов, А.В. Потапова, А.В. Борисов 113-121

Влияние технопедогенеза на морфологические и химические свойства почв рекреационных территорий (на примере сквера им. Саши Филиппова)
О.А. Гордиенко 122-131

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2022, том 28, № 2 (91), с. 3-12

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 556.535.3

ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ВОДНОГО РЕЖИМА ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ В ВЕРХОВЬЯХ Р. АРПА

© 2022 г. В.Г. Маргарян*, Е.В. Гайдукова, Л.В. Азизян***, Н.В. Мякишева****

**Ереванский государственный университет*
Республика Армения, 0025, г. Ереван, ул. Алека Манукяна, д.1. Email: vmargaryan@ysu.am
***Российский государственный гидрометеорологический университет*
Россия, 195196, г. Санкт-Петербург, Малоохтинский просп., д. 98
Email: oderiut@mail.ru, natalia.myakisheva@yandex.ru
****Центр гидрометеорологии и мониторинга ГНО, Министерство окружающей среды РА*
Республика Армения, 0025, г. Ереван, адм. район Кентрон, ул. Чаренци, д. 46
Email: levon_azizyan@yahoo.com

Поступила в редакцию 21.10.2021. После доработки 16.12.2021. Принята к публикации 13.01.2022.

В статье рассматриваются многолетние тенденции изменения речного стока весеннего половодья и гидроэкологические и водохозяйственные последствия изменения климата в верховьях р. Арпа. В ходе исследования использованы данные о среднесуточных расходах воды и температуре воды в речном створе Джермук реки Арпа, а также данные об основных метеорологических элементах на метеостанции Джермук, расположенной в верхнем течении бассейна реки Арпа.

Одной из важнейших характеристик половодья являются максимальные расходы воды за время прохождения весеннего половодья. Абсолютные максимальные расходы варьируют в диапазоне от 8.26 до 199 м^3/с, средние максимальные расходы – от 1.86 до 116 м^3/с. Обсуждены и оценены межгодовое изменение дат начала, конца, продолжительности и объема стока весеннего половодья, а также температур приземного слоя воздуха и атмосферных осадков за декабрь-февраль и за апрель-июнь, максимального запаса воды в снеге, температуры воды за апрель-июнь.

Показано, что за последние 28 лет сокращается объем половодий и их продолжительность, смещаются сроки в сторону более ранних дат, уменьшаются максимальные расходы воды в период половодья. Также выявлено, что повышаются зимние и весенне-летние (за апрель-июнь) средние температуры воздуха, атмосферные осадки зимнего периода, уменьшается максимальный запас воды в снеге. Как последствие современных изменений гидрологического режима весеннего половодья проявляются многочисленные гидроэкологические и водохозяйственные проблемы, которые требуют повышенного внимания и учета.

При межгодовых колебаниях четко виден перелом в ходе объема стока весеннего половодья в начале – середине 1990-х годов, после которого начался период их существенного и устойчивого понижения. Скорость изменения объемов половодья во втором периоде (1993-2020 гг.) составляла – -17.9 млн. м^3/10 лет и – -13.2 млн. м^3/10 лет. В первом периоде (1957-1992 гг.) наблюдалось повышение объемов стока половодья, скорость изменения которого составляла соответственно +9.63 млн. м^3/10 лет и +4.07 млн. м^3/10 лет. В течение последних двух-трех десятилетий объем стока весеннего половодья уменьшился почти на 50.1 млн. м^3, а объем стока за период апрель-июнь – почти на 37.0 млн. м^3. Такая тенденция обусловлена повышением зимних температур воздуха и увеличением числа и продолжительности оттепелей, что приводит к уменьшению предвесенних запасов воды.

Отмечается, что в верхней части бассейна реки Арпа к существенной деградации половодья как фазы водного режима приводят происходящие в настоящий момент климатические изменения: повышение в зимний сезон приземной температуры воздуха является основной причиной снижения водности весны в верховьях р. Арпа.

Получены корреляционные связи между значениями объемов весеннего половодья в верховьях

р. Арпа, рассчитанных с апреля по июнь и с начала половодья до его окончания. Эту зависимость можно использовать для оценок, расчета, а также проверки объема весеннего половодья, имея объем стока за апрель-июнь.

Ключевые слова: весеннее половодье, температуры воздуха и воды, осадки, максимальный запас воды в снеге, межгодовое изменение, гидроэкологические и водохозяйственные проблемы, верховье реки Арпа.

DOI: 10.24412/1993-3916-2022-2-3-12

Весеннее половодье как фаза водного режима играет исключительную роль в формировании стока воды в бассейне р. Арпа в течение всего года (в период весеннего половодья р. Арпа – п. Джермук в среднем проходит 57% годового стока), определяя потенциальные запасы воды в период летне-осенней межени и за год.

В настоящий момент многие страны столкнулись с воздействием изменений климата на водные ресурсы. Наблюдается учащение стихийных наводнений. Эта тенденция особенно видна в горных районах, где преобладают наводнения, вызванные весенним половодьем. На равнинных территориях также наблюдается учащение опасных гидрологических явлений, но их сроки, как правило, приходятся на летне-осенние паводки (Паромов и др., 2016).

Главной причиной, создающей своеобразие гидрологических процессов, является современное глобальное потепление. Изменение температуры воздуха приземной атмосферы является катализатором региональных гидрологических событий (Кузьмина, Трешкин, 2014). Динамика и трансформация ведущих природных факторов определяют своеобразие и аномалии весеннего половодья в современный климатический период и создают предпосылки для позитивных и негативных гидрологических, водохозяйственных и экологических последствий (Дмитриева, 2018).

Выявленные изменения максимального стока весеннего половодья значимы. Их необходимо учитывать при выполнении гидрологических расчетов и прогнозов объема стока весеннего половодья. Проблема достаточно актуальна, так как завышение расчетных расходов воды и объемов стока весеннего половодья приводит к необоснованным затратам при проектировании и строительстве хозяйственных объектов, а снижение расчетных значений стока увеличивает риски природных и техногенных катастроф (Апухтин, Кумани, 2015).

Цель данного исследования – оценка изменений водного режима весеннего половодья и их гидроэкологические последствия в верховьях реки Арпа.

Объекты исследования

В качестве объекта исследования выбран верхний бассейн реки Арпа, т.е. бассейн реки Арпа до створа Джермук.

Река Арпа является левым притоком р. Аракс. Длина реки на территории Республики Армения – 92 км, площадь водосбора – 2080 км^2, из которых 199 км^2 – площадь водосборного бассейна поста Джермук. Здесь река имеет горный характер, проходит по ущельям, характерен большой уклон и разрезанность поверхности водосбора. Средняя высота водосбора составляет 2790 м н.у.м., а средний уклон – 188‰.

Река берет начало на северо-западном склоне Сюникского нагорья, высота которого более 3000 м н.у.м. (рис. 1). Бассейн сложен в основном вулканогенными породами, преобладают андезито-базальты четвертичного возраста, а также распространены андезиты, туфы, туфобрекчии третичного периода.

Для рек рассматриваемой территории свойственно половодье (март-июнь), летне-осенняя (июль-ноябрь) и зимняя (декабрь-февраль) межени. Весеннее половодье – основная фаза водного режима рек бассейна Арпа, за этот период проходят максимальные расходы и значительная часть годового стока (в среднем около 50% и более от общего объема; Маргарян и др., 2021). В период половодья формируются наибольшие в году расходы воды, достигающие экстремальных значений в особо многоводные годы и вызывающие катастрофические наводнения.

Река Арпа, как и большинство рек Республики Армения, имеет смешанное питание. В питании реки Арпа (на гидрологическом посту Джермук) преобладает подземное (49%) и талое питание (43%), дождевое питание составляет очень небольшую часть – 8% (Чилингарян и др., 2002).

Климат на обсуждаемой территории, как в целом в бассейне р. Арпа (Маргарян и др., 2021), континентальный: характерны холодная или умеренно холодная зима и жаркое лето. Максимальная температура воздуха может доходить до +33.8°С, минимальная до -30.0°С (табл. 1). Годовая сумма осадков в среднем находится в диапазоне от 374 до 764 мм. За период весеннего половодья может выпасть почти 40-45% от годовых осадков, в среднем – 35%.

В течение года хорошо выражен ход средних месячных значений температуры воздуха и воды. Обычно максимальные значения температуры воды (как и воздуха) наблюдаются в июле-августе, а минимальные – в декабре-январе (температура воздуха) и в январе (температура воды). Средние месячные температуры воды в зимний сезон (декабрь-март) в створе Джермук реки Арпа положительны, отрицательные наблюдаются редко, в единичные зимы с сильными морозами. Отрицательные значения температуры воздуха регистрируются в основном со второй половины ноября и длятся до конца марта. Средняя температура воды в р. Арпа – п. Джермук за период апрель-июнь составляет 4.9°С, средняя годовая температура воздуха и поверхности почвы на метеостанции Джермук – 8.6°С и 11.7°С соответственно.

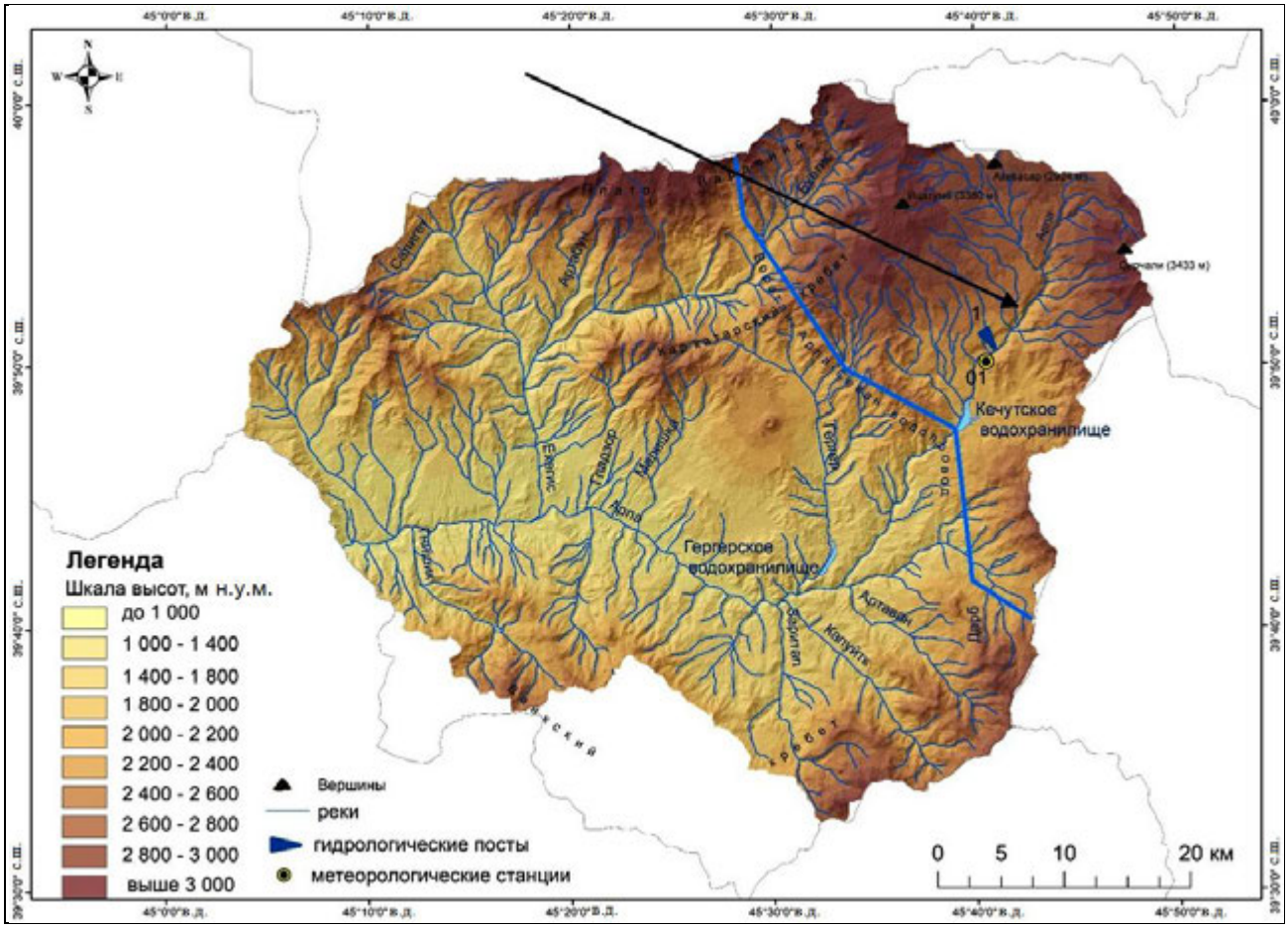


Рис. 1. Расположение гидрологических постов и метеорологических станций в верховьях р. Арпа.

Материалы и методы исследования

Информационную основу составили сетевые наблюдения за элементами гидрометеорологического режима «Центра гидрометеорологии и мониторинга» ГНКО Министерства окружающей среды Республики Армения. В процессе работы были использованы многолетние (с 1957 по 2020 гг.) среднесуточные данные расходов и температуры воды для гидрологического поста р. Арпа – д. Джермук, а также и некоторые метеорологические элементы по метеостанции Джермук, расположенной в верхнем течении реки Арпа (рис. 1).

Для обработки, анализа и представления результатов использованы стандартные методы статистического анализа, графической интерпретации и научного обобщения, экстраполяции и корреляции, картографический метод.

Результаты и их обсуждение

Как правило, объем и форма половодья зависят от множества факторов: площади и конфигурации водосбора, направления фронта снеготаяния, величины снегозапасов и условий их таяния, наличия или отсутствия поймы, особенности гидрографической сети и др. (Апухтин, Кумани, 2015; Киреева, Фролова, 2013; Саркисян и др., 2017; Шагинян, 1981). В реках величина экологического стока за зимний период данного года в основном зависит от составляющих весенних паводков прошлого года этой реки, главным из которых является величина его объема. Установлена связь между величинами объемов весеннего половодья и экологического стока на примере речного бассейна Арпа, на основе которой можно разработать методику оценки экологического стока рек республики, имеющих в основном снеговое питание (Саркисян и др., 2017).

В верхней части бассейна реки Арпа талые снеговые воды являются основным источником увлажнения почвенного покрова и формирования речного стока половодья. Период половодья наступает ежегодно в весенний или весенне-летний сезоны. Но на изучаемой территории половодья наступают и заканчиваются не одновременно, что обусловлено условиями питания рек, синоптическими процессами и климатическими условиями года, характером весны (дружной или затяжной, ранней или запоздалой). Так, весеннее половодье начинается в первой половине апреля, иногда в первой декаде марта и заканчивается в первой половине июля, порой – в середине августа. Средняя продолжительность половодья составляет 94 дня, т.е. три месяца (табл. 1).

Таблица 1. Основные характеристики весеннего половодья (1957-2020 гг.) р. Арпа – п. Джермук.

Половодье						Максимальный сток			
Дата, день/месяц		Продолжительность, дни	Средний объем, млн. м^3	Слой стока		Средний		Абсолютный	
Начало	Окончание			Средний, мм	% от годового	Расход, м^3/с	Модуль, л/с·км^2	Расход, м^3/с	Дата, день/месяц/год
05/04	07/07	94	96.4	526	58	46.0	208	91.0	17/05/1983

На рисунке 2 видны зависимости и тренды (за период 1993-2020 гг.) сдвига даты начала (рис. 2а – пока статистически незначимые) и окончания (рис. 2б – уже статистически значимые) половодья на более ранние сроки, то есть отрицательные тренды изменения продолжительности половодья. С 1993 г. наблюдается статистически значимое уменьшение продолжительности (рис. 2в) половодья.

Одной из важнейших характеристик половодья являются максимальные расходы воды за время прохождения этой фазы водного режима. Величина и дата наступления максимальных расходов воды связаны с количеством снегозапасов, интенсивостью затока теплого воздуха и выпадающих осадков. Абсолютные максимальные расходы варьируют в диапазоне от 8.26 до 199 м^3/с, средние максимальные расходы – от 1.86 до 116 м^3/с. Максимальный расход определяет возможность затопления прилежащих к водотоку территорий, непосредственно связан с характером прохождения половодья и его объемом (Маргарян и др., 2021), а также с рядом характеристик водосбора: структурой гидрографической сети, рельефом, характером поймы (Киреева, Фролова, 2013). Для створа Джермук реки Арпа характерно значительное превышение максимальных расходов воды над меженными: это соотношение может достигать до 1:62. Наблюдается тенденция уменьшения абсолютных значений максимальных расходов рек Арпа (Margaryan et al., 2021).

Подъем расхода весной начинается в основном в первой половине апреля и достигает максимума в конце мая – начале июня (табл. 2). Половодье состоит из серии подъемов и понижений, обусловленных ходом таяния снега в соответствии с колебаниями температур воздуха, также

особенностями выпадения жидких осадков в период половодья. Выпадающие в период половодья жидкие осадки могут вызывать дополнительные пики на подъеме и на спаде половодья.

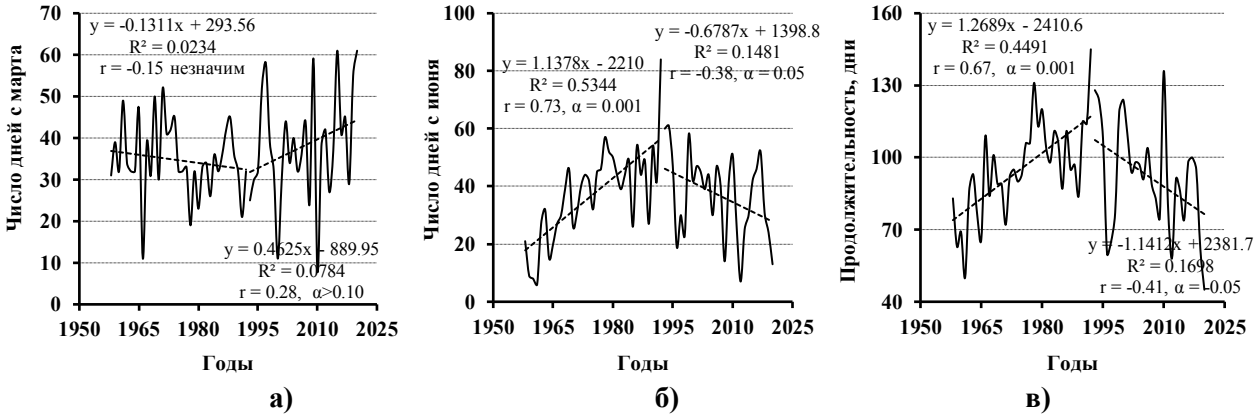


Рис. 2. Межгодовое изменение начала (а), конца (б) и продолжительности (в) половодья на гидрологическом посту Джермук на реке Арпа.

Таблица 2. Средние декадные величины расходов ($м^3/с$) весеннего половодья с 1957 по 2020 гг. на р. Арпа в речном створе Джермук.

Месяцы														
Март			Апрель			Мая			Июнь			Июль		
Декады														
I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Расходы ($м^3/с$)														
2.53	2.65	2.90	3.90	5.79	8.83	12.8	20.3	21.4	14.9	10.8	7.44	5.59	4.47	3.72

Средний объем весеннего половодья за период с 1 апреля по 30 июня колеблется от 35.2 млн. $м^3$ (2020 г.) до 168 млн. $м^3$ (1988 г.). Объем весеннего половодья рассчитан как с начала половодья и до его окончания, так и за апрель-июнь. Причина в том, что определить начало и окончание половодья довольно-таки сложно. А с другой стороны, это связано с тем обстоятельством, что в условиях такой горной страны, как Армения, половодье начинается и заканчивается не одновременно и для составления прогнозов периодом весеннего половодья считается апрель-июнь. Поэтому в этой работе обсуждаются одновременно межгодовой ход объема весеннего половодья в верховьях р. Арпа с начала и до окончания половодья (рис. 3а) и за период с апреля по июнь (рис. 3б) отдельно, а также установленная связь между ними (рис. 4). Полученную связь (рис. 4) можно использовать для расчета, а также проверки объема весеннего половодья, имея объем стока за апрель-июнь. Вероятность антропогенной обусловленности отмеченных изменений весьма мала. Хозяйственная деятельность на рассматриваемой территории ввиду ее малых масштабов может оказывать лишь локальное воздействие.

В изучаемом створе экстремальная водность за последние 6-7 десятилетий наблюдалась в 1980-х годах. Исторический максимум водности половодья за весь период мониторинга на данном гидрологическом посту Джермук наблюдался в 1988 году, достигший величины 179 млн. $м^3$ (рис. 3а). Высокие половодья сформировались в 1978, 1988, 2007 гг., когда водность превышала величины 150 млн. $м^3$. Средний многолетний объем весеннего половодья р. Арпа – п. Джермук, равный 96.4 млн. $м^3$, ниже экстремального примерно в 2 раза.

При межгодовых колебаниях четко виден перелом в ходе объема стока весеннего половодья в начале – середине 1990-х годов (рис. 3а-б), после которого начался период их существенного и устойчивого понижения. Скорость изменения объемов половодья во втором периоде (1993-2020 гг.) составляла – -17.9 млн. $м^3$/10 лет (рис. 3а) и – -13.2 млн. $м^3$/10 лет (рис. 3б). В первом периоде (1957-

1992 гг.) наблюдалось повышение объемов стока половодья, скорость изменения которого составляла соответственно +9.63 млн. м^3/10 лет (рис. 3а) и +4.07 млн. м^3/10 лет (рис. 3б). В течение последних 2-3 десятилетий объем стока весеннего половодья уменьшился почти на 50.1 млн. м^3, а объем стока за период апрель-июнь – почти на 37.0 млн. м^3. Такая тенденция обусловлена повышением зимних температур воздуха (рис. 5а) и увеличением числа и продолжительности оттепелей, что приводит к уменьшению предвесенних запасов воды (Дмитриева, 2018; Фролова и др., 2015). Так, отмеченное ранее увеличение температуры воздуха в холодный период, рост числа, продолжительности и «глубины» оттепелей, сокращение длительности холодного периода года являются предпосылками к перестройке водного режима рек, меньшее промерзание почв и т.д., связанные со значительным сокращением стока за половодье, увеличением естественной зарегулированности стока. Однако степень проявления климатических изменений зависит от характеристик конкретного водосбора, его естественной и искусственной регулирующей способности, хозяйственного освоения (Киреева, Фролова, 2013). В XX и начале XXI века стокоформирующие факторы меняли объем, максимальные расходы и интенсивность половодья малых и средних рек Центрального Черноземья, связанные с хозяйственной деятельностью человека и, как следствие, с изменением температурного фона холодного периода, учащением оттепелей, уменьшением промерзания почв и др. (Апухтин, Кумани, 2015). Например, основной причиной изменения водного режима рек южной и восточной Беларуси за 1987-2011 гг. явилось повышение средней температуры воздуха в зимний период, которое отразилось главным образом на внутригодовом распределении стока: снизились максимальные расходы и слои половодья (Сикан, Байдук 2015).

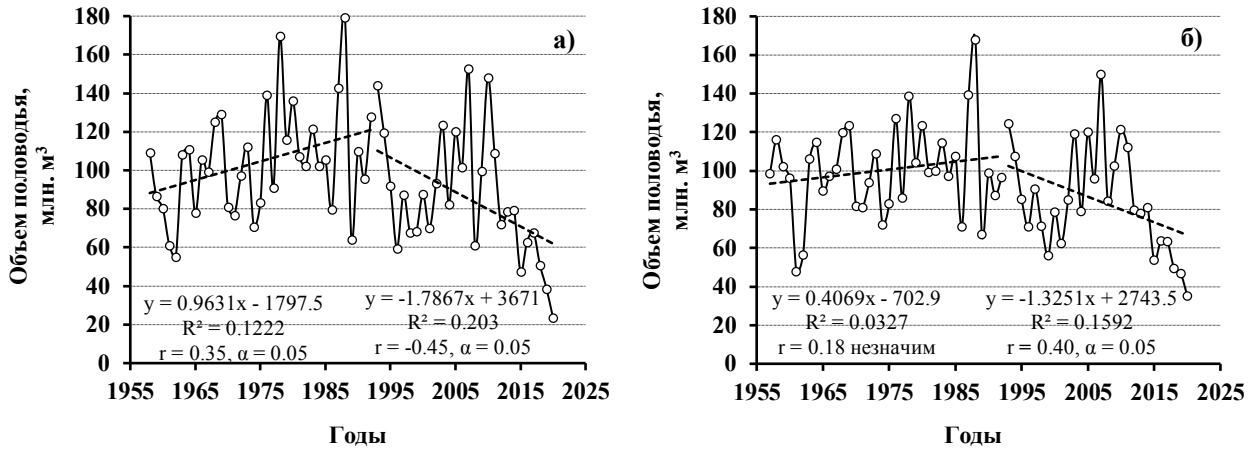


Рис. 3. Межгодовой ход объема весеннего половодья в верховьях р. Арпа, рассчитанный с начала половодья и до его окончания (а), а также за период с апреля по июнь (б).

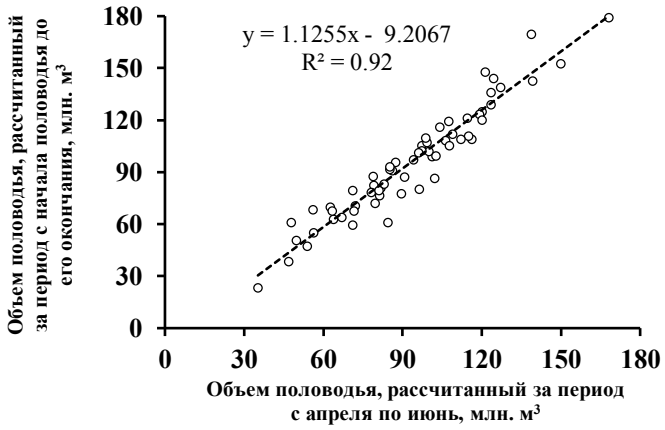


Рис. 4. Корреляционная связь между объемом весеннего половодья в верховьях р. Арпа, рассчитанная для периода с апреля по июнь и с начала половодья до его окончания.

Тенденция уменьшения стока половодья характерна для многих регионов России и прилегающих территорий (Апухтин, Кумани, 2015; Георгиади и др., 2014; Джамалов и др., 2013; Дмитриева, 2018; Научно-прикладной справочник ..., 2021; Сикан, Байдук, 2015; Фролова и др., 2015). Так, например, на всей территории Центрального Черноземья в начале 1970-х гг. резко сокращаются слой весеннего стока и максимальный расход воды, меняется продолжительность половодья. Начиная с этой даты, произошла наиболее существенная трансформация режима весеннего стока (Апухтин, Кумани, 2015). Динамика слоя стока воды за половодье имеет сложный характер, для бассейна Дона однозначно можно говорить о сокращении слоя стока половодья на 10-30% (Киреева, Фролова, 2013).

Для оценки влияния климатических факторов на сток рек рассмотрен временной ход и тренды средних температур приземного слоя воздуха и атмосферных осадков за зимний (рис. 5а, 5в) период и за апрель-июнь (рис. 5б, 5г). Анализ линий трендов показывает, что на действующей в настоящее время метеостанции Джермук с 1993 по 2020 годы наблюдается тенденция роста температуры воздуха (пока все еще с довольно низкой значимостью – $\alpha > 0.10$), что обусловливает отрицательную динамику изменения объемов стока весеннего половодья в верхнем течении бассейна р. Арпа. При том, скорость изменения зимней температуры во втором периоде превысила скорость изменения температуры за апрель-июнь, которые соответственно составляли +0.52°C/10 лет и +0.30°C/10 лет. После середины 1990-х годов температура воздуха на метеостанции Джермук повысилась соответственно на 1.5 (рис. 5а) и 0.8°C (рис. 5б).

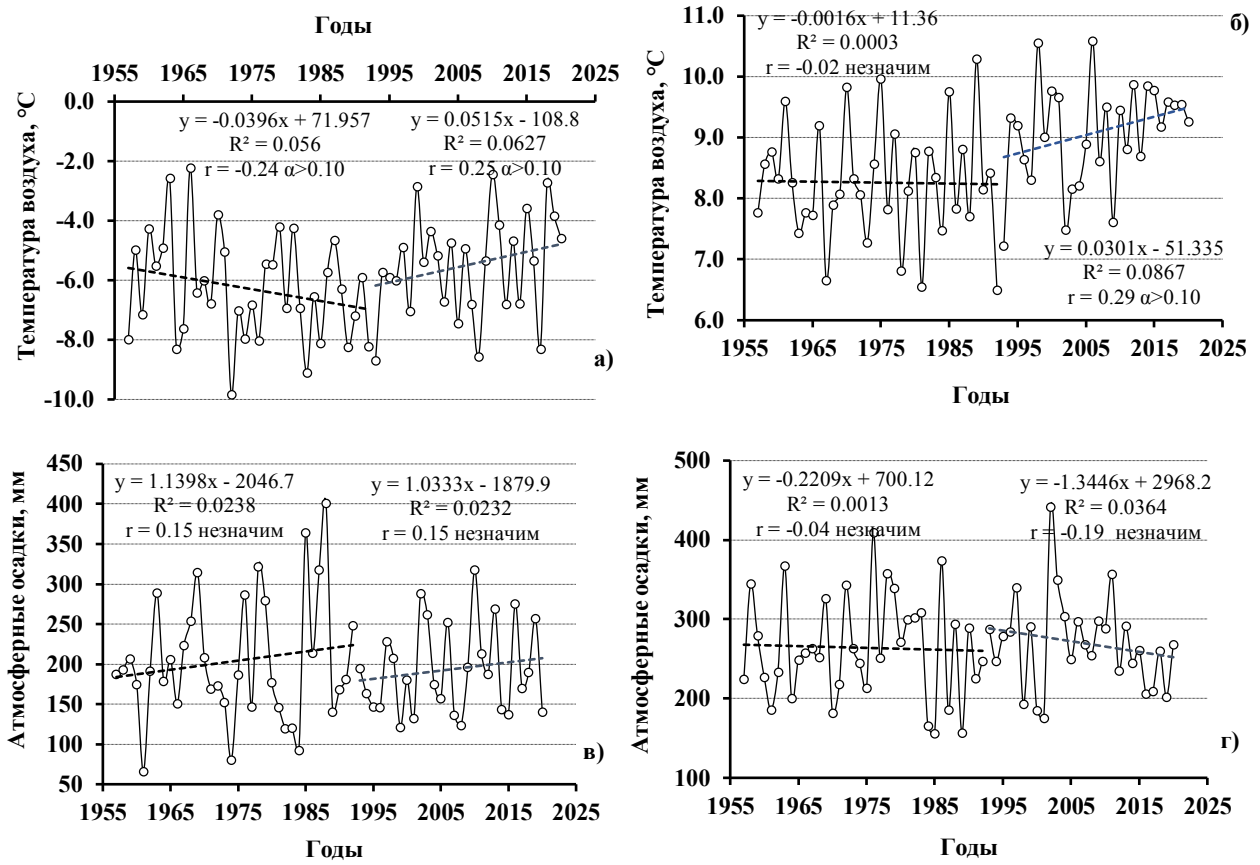


Рис. 5. Динамика средних температур приземного слоя воздуха за декабрь-февраль (а) и за апрель-июнь (б), а также атмосферных осадков за декабрь-февраль (в) и за апрель-июнь (г) в верховьях р. Арпа.

Как видно из рисунков 5в и 5г, на метеостанции Джермук после середины 1990-х годов характерна незначимая тенденция уменьшения атмосферных осадков за декабрь-февраль и такое же незначимое их повышение за апрель-июнь. Отсюда следует, что несмотря на то, что на изучаемой территории за последние 2-3 десятилетия наблюдается тенденция роста количества осадков за зимний период (декабрь-февраль), уменьшается объем стока весеннего половодья. Это связано с тем,

что в этот период зафиксирован рост температуры (пока с довольно невысокой значимостью – α>0.10) приземного слоя воздуха (рис. 5а, 5б), а в результате этого рост температуры воды (рис. 6б), увеличение повторяемости оттепелей зимой и уменьшение максимального запаса воды в снеге (рис. 6а). Следовательно, повышение в зимний сезон приземной температуры воздуха является основной причиной сокращения водности весны из-за сокращения продолжительности весеннего половодья. Об этом отмечено и в других работах. Динамика приземной температуры воздуха, особенно овышение в зимний сезон, является причиной многочисленных оттепелей, сокращения водности весной и перераспределения сезонного стока внутри года (Дмитриева, 2018).

Скорость изменения зимних атмосферных осадков во втором периоде составляла +10.3 мм/10 лет, а за апрель-июнь – -13.4 мм/10 лет. С 1993 по 2020 годы атмосферные осадки на метеостанции Джермук за период декабрь-февраль увеличились на 28.8 мм, а за период апрель-июнь сократились на 37.5 мм.

В настоящее время в связи с изменением режима половодья выявятся многочисленные гидроэкологические и водохозяйственные проблемы. Скорее всего, с уменьшением стока половодий возникнут водохозяйственные проблемы с заполнением водоема Кечут, который находится ниже гидрологического поста Джермук. В результате уменьшится наполняемость водохранилища Кечут.

С позиций водопользования сокращение объема половодий влечет неоднозначные последствия (Дмитриева, 2018). Положительной реакцией является снижение гидроэкологической напряженности, гидрологических рисков и ущерба от наводнений, затоплений и подтоплений территорий (Фролова и др., 2015; Dmitrieva, 2011). В результате уменьшения продолжительности весенних половодий на изучаемой территории увеличится продолжительность межени, что характеризуется формированием напряженности водопользования.

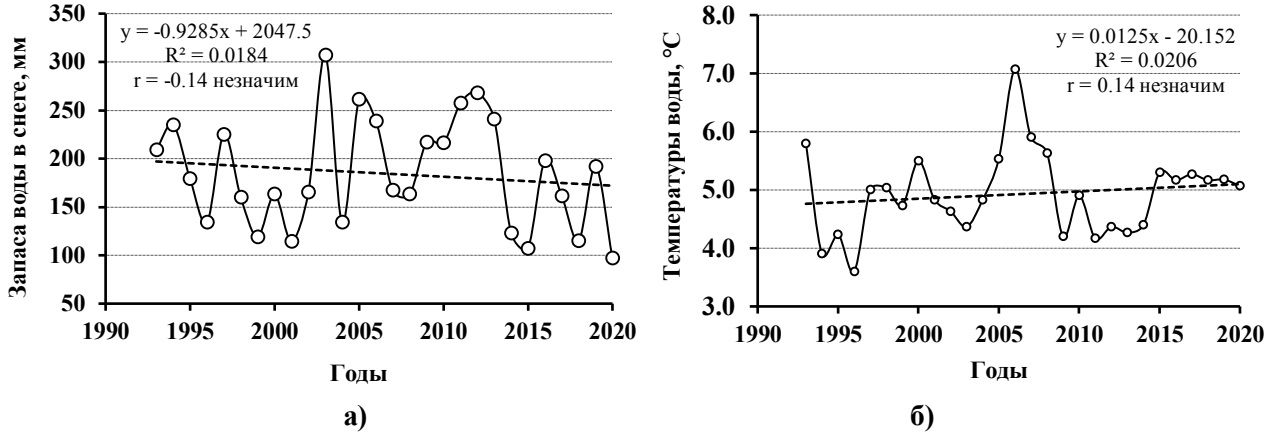


Рис. 6. Временной ход максимального запаса воды в снеге (мм) на метеостанциях Джермук (а) и средней температуры воды (ºС) за апрель-июнь (б) на створе Джермук р. Арпа.

С гидрологическими и водохозяйственными проблемами, сопутствующими современной трансформации гидрологического режима, тесно связаны экологические проблемы. Фактором, обостряющим гидроэкологические проблемы, является сокращение ассимилирующей способности рек при снижении водности и проточности рек, сопровождающееся ухудшением качества воды в реках – приемниках сточных вод (Дмитриева, Нефедова, 2016). Современной проблемой гидрологии и экологии рек становится эвтрофирование русел, накопление биомассы и ухудшение качества воды. Ускорителем процесса эвтрофирования наряду с другими причинами является повышение температуры речной воды, своеобразный и неизбежный отклик на температурные изменения в приземной атмосфере. Это может стать катализатором снижения качества воды (Дмитриева, 2018).

Анализ многолетней динамики температуры воды показывает (рис. 6б), что на р. Арпа – п. Джермук с 1993 по 2020 годы наблюдается незначимая тенденция роста средних температур воды за апрель-июнь, скорость изменения которого составляла +0.12°С/10 лет. В этот период средние температуры воды за апрель-июнь повысились на 0.4°С.

Выводы

В гидрологическом режиме весеннего половодья реки Арпа, в ее верхнем течении, отмечаются сложные динамические процессы: сокращение объемов половодий и их продолжительности, снижение максимумов стока, смещение сроков половодий в сторону более ранних дат.

Изменения характеристик весеннего половодья рек бассейна проявляются в смещении его сроков и продолжительности. Наиболее существенны сдвиги даты окончания половодья – на 19 дней в сторону более ранних сроков. Сдвиги даты начала половодья составили около 13 дней в сторону более ранних сроков. В результате с 1993 года наблюдается уменьшение продолжительности половодья; половодье сместилось на 32 дня в сторону более ранних сроков.

Временные изменения водного режима весеннего половодья и их последствия рассмотрены в контексте климатических флуктуаций глобального и регионального уровня. Очевидно, что в изучаемом речном створе понижение стока – результат как изменения климата, так и деятельности человека, которое требует отдельного научного обобщения.

Происходящие в настоящий момент климатические изменения приводят к существенной деградации половодья в верхнем бассейне реки Арпа как фазы водного режима.

Основной причиной изменения водного режима реки Арпа является повышение средней температуры воздуха в зимний период, которое составило +1.5°С за последние 28 лет. Это привело к уменьшению максимального запаса воды в снеге, увеличению температуры воды и многочисленным гидроэкологическим и водохозяйственным проблемам.

Современные изменения гидрологического режима весеннего половодья и их гидроэкологические и водохозяйственные последствия требуют повышенного внимания и учета при планировании водоснабжения, разработки и осуществления соответствующих мероприятий и программ по смягчению и адаптации их негативных воздействий.

Полученные результаты могут быть использованы для оценки гидроэкологической безопасности, разработки стратегий рационального использования и охраны водных ресурсов, проектирования гидротехнических сооружений, реализации водохозяйственных мероприятий, при изучении экологической проблемы бассейна реки Арпа.

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке КН РА (Комитет науки Республики Армения) и РФФИ (Российский фонд фундаментальных исследований) в рамках совместной научной программы 20RF-039 «Краткосрочный вероятностный прогноз стока рек в период весеннего половодья» и № 20-55-05006\20.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Апухтин А.В., Кумани М.В. 2015. Многолетняя динамика основных элементов весеннего стока малых и средних рек Центрального Черноземья // Научные ведомости Белгородского государственного университета, серия Естественные науки. Вып. 33. № 21 (218). С. 114-120.

Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Милюкова И.П., Кашутина Е.А., Барабанова Е.А. 2014. Современные и сценарные изменения речного стока в бассейнах крупнейших рек России. Ч. 2. Бассейны рек Волги и Дона. М.: Макс-Пресс. 216 с.

Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Киреева М.Б. 2013. Современные изменения водного режима в бассейне Дона // Водные ресурсы. Том 40. № 6. С. 544-556.

Дмитриева В.А. 2018. Аномалии весеннего половодья в Донском бассейне и их водохозяйственные и гидроэкологические последствия // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. Том 42. № 2. С. 181-190.

Дмитриева В.А., Нефедова Е.Г. 2016. Гидрохимический отклик малых водотоков на современные климатические процессы // Ледовые и термические процессы на водных объектах России: труды V Всероссийской конференции (Владимир, 11-14 октября 2016 г.). Владимир. 146-152.

Киреева М.Б., Фролова Н.Л. 2013. Современные особенности весеннего половодья рек бассейна Дона // Водное хозяйство России. № 1. С. 60-76.

Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. 2014. Климатические изменения в бассейне Нижней Волги и их влияние на состояние экосистем // Аридные экосистемы. 2014. № 3 (60). С. 14-32. [*Kouzmina J.V., Treshkin S.E.* 2014. Climate changes in the basin of the Lower Volga and their influence on the ecosystem // Arid Ecosystems. Vol. 4. No. 3. P. 142-157.]

Маргарян В.Г., Гайдукова Е.В., Азизян Л.В., Мисакян А.Э. 2021. Особенности формирования весеннего

половодья в бассейне реки Арпа // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. № 3. С. 126-152.

Научно-прикладной справочник: Многолетние колебания и изменчивость водных ресурсов и основных характеристик стока рек Российской Федерации. 2021 / Ред. В.Ю Георгиевский. СПб.:ООО "РИАЛ". 190 с.

Паромов В.В., Шумилова К.А., Гордеев И.Н. 2016. Условия формирования половодья большой водности и прогноз наводнения на реке Абакан // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. Том 327. № 11. С. 57-67.

Саркисян В.О., Геворгян Н.Г., Закарян Б.Г. 2017. Оценка экологического стока в зависимости от объема весеннего речных половодья // Известия Национального Университета Архитектуры и Строительства Армении. Вып. 1. С. 57-61

Сикан А.В., Байдук О.В. 2015. Влияние изменения климата на водный режим рек южной и восточной частей Республики Беларусь // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. № 40. С. 61-70.

Фролова Н.Л., Киреева М.Б. Агафонова С.А., Евстигнеев В.М., Ефремова Н.А., Повалишникова Е.С. 2015. Внутригодовое распределение стока равнинных рек европейской территории России и его изменение // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. № 4. С. 4-20.

Чилингарян Л.А., Мнацаканян Б.П., Агабабян К.А., Токмаджян О.В. 2002. Гидрография рек и озер Армении. Ереван: ММ Принт. 49 с. (На армянском яз.).

Шагинян М.В. 1981. Основные закономерности формирования элементов стока рек Армянской ССР и методика их прогнозирования. Л.: Гидрометеоиздат. 176 с.

Dmitrieva V.A. 2011. Change in the River Network and Water Resources in the Upperand Middle Reaches of the Don River Due to Current Climaticand Economic Conditions // Arid Ecosystems. No 2. P. 193-199. [*Дмитриева В.А.* 2011. Внутригодовая и многолетняя динамика сезонного речного стока бассейна Верхнего Дона // Аридные экосистемы. Т. 17. № 2 (47). С. 23-32.]

Margaryan V., Azizyan L., Misakyan A., Gaidukova E., Tsibulskii G., Raevich K. 2021. Features of the maximum water flows of the Arpa river under modern conditions // E3S Web of Conferences 333. 02006. P. 6

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2022, том 28, № 2 (91), с. 13-26

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 910.3; 911.2; 911.6

ФАКТОРЫ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ АГРОЛАНДШАФТА И ПЕРСПЕКТИВЫ СОХРАНЕНИЯ СТЕПЕЙ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2022 г. А.А. Тишков*,, А.С. Некрич***

**Институт географии РАН*
Россия, 109017, г. Москва, Старомонетный пер., д. 29. E-mail: tishkov@igras.ru
***Белгородский государственный национальный исследовательский университет*
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, д. 85. E-mail: a.s.nekrich@igras.ru

Поступила в редакцию 30.09.2021. После доработки 16.12.2021. Принята к публикации 13.01.2022.

Уменьшению углеродного следа сельскохозяйственного производства на районном уровне может способствовать рациональная организация территорий, вмещающих агроландшафты, с учетом оптимального пространственного распределения площадей, снижающих агрогенную эмиссию углерода. Необходимость перехода к «углеродно-нейтральному сельскому хозяйству» и оптимизация структуры агроландшафта особенно актуальны для таких регионов, как Белгородская область, которая обеспечивает 4.8% общей стоимости производимой сельскохозяйственной продукции России и где расположены целинные участки степей, способные эффективно регулировать баланс углерода.

В ходе анализа статистических показателей, картографических и литературных данных, отчетов профильных ведомств и министерств, а также материалов многолетних полевых и экспериментальных исследований, проведенных авторами в Белгородской области, на внутрирайонном уровне за период с 1990 по 2020 гг. выявлены тенденции динамики площадей сельскохозяйственных угодий в структуре современных агроландшафтов в сопоставлении с изменением площадей сохранившихся целинных степных участков и земель природно-заповедного фонда.

Установлены агро-ресурсные ареалы, вмещающие муниципальные районы со схожими трендами изменения площадей сельскохозяйственных угодий в структуре агроландшафтов, со схожей специализацией сельского хозяйства, идентичными изменениями природной, социальной, экономической и экологической ситуации: 1) агро-ресурсный ареал концентрации промышленности вблизи крупных городов в западной и центральной частях области, 2) агро-ресурсный ареал наличия конфликтов сельскохозяйственного и промышленного природопользования в северной части области, 3) агро-ресурсный ареал юго-восточной сельскохозяйственно-промышленной части области. В границах ареалов выявлены ключевые факторы, определяющие потенциальные возможности производства сельскохозяйственной продукции и тренды динамики площадей агроландшафтов. Оценена доля особо охраняемых природных территорий значимая для снижения агрогенной эмиссии углерода. Обозначена важность таких территорий для поддержания «углеродной нейтральности» при современном хозяйственном освоении. Отмечено, что в пределах установленных ареалов с запада на северо-восток и юго-восток прослеживается менее масштабное уменьшение площадей агроландшафтов, однако их агроприродный потенциал снижается. Данный факт объясняется усилением действия негативных природных и экологических факторов, недостаточным внедрением адаптивно-ландшафтной системы земледелия в процесс сельскохозяйственного производства, диспропорцией объемов инвестирования в агропромышленный комплекс, а также сокращением численности трудоспособного населения, занятого в сельском хозяйстве. Показано, что масштабы проявления конфликтов сельскохозяйственного и промышленного природопользования увеличиваются в восточном и северо-восточном направлении.

С помощью методов математической статистики определены связи между ключевыми факторами (влияющими на задействование ландшафтов для аграрных целей) и динамикой площадей агроландшафтов, в границах сформировавшихся агро-ресурсных ареалов.

Рассмотрены перспективы территориальной охраны целинных участков степей в ракурсе решения задач «углеродного нейтрального земледелия» в условиях действия установленных в статье трендов динамики изменения площадей агроландшафтов. Выявленные особенности трансформации агроландшафта Белгородской области позволят в перспективе оптимизировать его структуру для достижения целей «углеродно-нейтрального сельского хозяйства» и повысить эффективность региональной сети особо охраняемых природных территорий.
Ключевые слова: Белгородская область, агроландшафт, территориальная дифференциация землепользования, целинные и особо охраняемые природные территории, «углеродная нейтральность».
DOI: 10.24412/1993-3916-2022-2-13-26

Белгородская область – староосвоенный аграрно-индустриальный регион, в котором расположены экономически важные агроландшафты, обеспечивающие 4.8% общей стоимости производимой сельскохозяйственной продукции страны (Государственный …, 2020; Статистический …, 2019). На формирование современной территориальной структуры сельскохозяйственного землепользования области оказали влияние как природные и климатические, так и социально-экономические факторы (Доклад …, 2020; Некрич, Люри, 2019; Nekrich, 2021).

Область располагается в умеренно-континентальном климате, в лесостепной и степной зонах Среднерусской возвышенности, глубоко расчлененной долинно-балочной и овражной сетью (Природные …, 2007). Почвенный покров представлен черноземами и серыми лесными почвами (Природные …, 2007). С запада на восток и юго-восток на территории области происходит увеличение суммы активных температур (>10ºС), при этом количество осадков уменьшается в этом же направлении. На западе отмечается умеренная, а на юго-востоке недостаточная влагообеспеченность (Строков и др., 2019). Согласно данным, приведенным в открытом доступе Национального управления океанических и атмосферных исследований (База по осадкам и температуре ..., 2021) и в научно-прикладных справочниках по климату (Научно-прикладной …, 1990; Научно-прикладной …, 2018), на территории области за последние 30 лет наблюдается уменьшение годового количества осадков. В северо-западных районах (пункт наблюдений Богородицкое-Фенино) уменьшение составило 56 мм, в центральных (пункт наблюдений Белгород) практически не изменилось, в юго-восточных (пункт наблюдений Валуйки) – 116 мм. Повышение среднегодовых значений температуры воздуха за этот период составило 0.2-0.6ºС, с колебанием межгодовых величин (4.2-4.5ºС). Увеличение суммы активных температур составило от 230ºС (на северо-западе области) до 250ºС на юго-востоке. Средняя продолжительность безморозного периода на поверхности почвы увеличилась с 117 до 155 дней в северо-западных районах и от 103 до 160 дней в юго-восточной части (Научно-прикладной …, 1990, 2018). Продолжительность периода активной вегетации (среднесуточная температура воздуха выше +10°С) увеличилась на 7-10 дней (Петин и др., 2017; База …, 2021). На вегетационный период приходится около 70% осадков от величины их годовой суммы. Климатические условия позволяют возделывать в области зерновые и овощные культуры, для которых потребность в тепле за период вегетации составляет от 1200ºС до 2800ºС (Природные …, 2007).

Начиная с периода системного кризиса и реформ 1990-х гг. на территории области наблюдается постепенный вывод площадей возделываемых земель из эксплуатации. С 1990 по 2006 гг. площадь сельскохозяйственных угодий уменьшилась на 293.1 тыс. га. Этот процесс, несмотря на многократные рекомендации включения молодых степных залежей в резервы расширения региональной сети особо охраняемых природных территорий (ООПТ; Тишков, 2003), не привел к масштабному росту площадей заповедных участков в регионе. В последующие 6 лет наблюдалась положительная динамика площадей сельскохозяйственных угодий (+47.1 тыс. га), но начиная с 2013 г. отмечается их сокращение, достигшее к 2020 году 6.7 тыс. га (Официальный сайт Росстата, 2021). Она не компенсировала долговременного уменьшения площадей возделываемых земель и, в целом, не сказалась существенно на территориальной охране зональных степей в области. По данным в 2004 г. в «пик» забрасывания аграрных земель в регионе (Состояние …, 2005) все виды ООПТ (преимущественно региональные и местные) занимали площадь 47637 га, что составляло 1.76% территории области. Спустя почти десятилетие на фоне роста площадей аграрных угодий после

паспортизации региональных и местных ООПТ в 2012 г. в региональный кадастр ООПТ включили 351 территорию регионального, а также 5 заповедных участков федерального значения (Дегтярь, Григорьева, 2016) преимущественно лесных (85% площади), а их доля не превышала 1.3% площади области при средней площади каждого всего 177 га.

Сопоставление современных данных по площади региональных ООПТ со статистикой по динамике площади сельскохозяйственных земель в Белгородской области показывает, что наблюдаемое «сужение» аграрного пространства пока никак не сказывается на территориальной охране зональных степных экосистем, способных эффективно регулировать баланс углерода в черноземных почвах (Суховеева и др., 2020). Понятно, что только оптимизация структуры степного агроландшафта в таких староосвоенных аграрных регионах, как Белгородская область, с высвобождением части площадей неэффективной пашни для инициации восстановительной сукцессии позволит региону приблизиться к решению задач «углеродного нейтрального земледелия» («карбонового АПК»), при котором восстанавливающиеся степи на зональных черноземах компенсируют за счет аккумуляции углерода его вековые потери на пашне (Чендев и др., 2017; Smelansky, Tishkov, 2012).

Запасы углерода в почвах Белгородской области изменяются от 15-20 кгС/м^2 в лесах на дерново-подзолистых и серых лесных до 30-50 кгС/м^2 в настоящих и луговых степях на черноземах (оподзоленных, выщелоченных и типичных). Максимальные удельные показатели запасов углерода в почвах области характерны для целинных степных участков заповедника Белогорье (например, «Ямская степь»). Заметно ниже они в агроландшафте на пашне на черноземах (15-30 кгС/м^2). При выведении черноземов из сельскохозяйственного использования и старте их самовосстановлениия, в них растет концентрация стабильных форм общего углерода при скорости аккумуляции до 100-300 гС/м^2 в год в первые 5-10 лет и 30 гС/м^2 в год в среднем за 77-летний период сукцессии (Лопес де Гореню и др., 2009; Курганова и др., 2010). Т.е. оптимальное соотношение в агроландшафте площадей пашни и восстанавливающихся степных залежей в сочетании с эффективной агротехникой (внесение органических и минеральных удобрений, борьба с эрозией) и сохранением высокого уровня выхода сельскохозяйственной продукции с интенсивно используемых земель будет способствовать переходу региона к «углеродной нейтральности земледелия».

Стратегия продовольственной безопасности Белгородской области основывается на рациональном управлении земельными ресурсами уже задействованными для аграрных целей, а не на масштабном расширении площадей пашни (Nekrich, 2021). Совершенствуются системы земледелия, которые позволяют контролировать развитие деструктивных природных процессов, повышать плодородие почв и снижать риски возникновения экологических проблем (Стратегия …, 2019). Однако такая практика реализуется локально и не в каждом муниципальном районе (МР) области. Зачастую, земли интенсивного сельскохозяйственного использования расположены в зоне влияния объектов промышленности, горнодобывающего комплекса (ГДК), селитебных территорий и транспортных сетей. Возникают конфликты сельскохозяйственного и промышленного природопользования (Дегтярь и др., 2016). Районы, не подверженные сельскохозяйственному и промышленному природопользованию, сохранились фрагментарно. Их площадь незначительна для поддержания экологического каркаса, сохранения биологического и ландшафтного разнообразия в условиях осуществления сельскохозяйственного и промышленного землепользования (Тишков, 2013; Tishkov et al., 2020).

В настоящей работе поставлена *цель* – оценить изменения площадей сельскохозяйственных угодий в структуре агроландшафтов в границах МР Белгородской области в зависимости от действующих природных, социально-экономических и экологических условий, выявить факторы, способствующие или препятствующие использованию ландшафтов для сельскохозяйственного производства в период 1990-2020 гг. и оценить перспективы территориальной охраны степей как наиболее углеродоемких экосистем региона.

Для достижения цели были поставлены несколько задач.

1. Проанализировать тенденции изменения площадей агроландшафтов в Белгородской области за период 1990-2020 гг. с привлечением данных земельной статистики и картографического материала.

2. Выявить ареалы, объединяющие МР со схожим изменением площадей сельскохозяйственных угодий в структуре агроландшафтов, схожей специализацией сельского хозяйства, идентичными изменениями природной, социальной, экономической и экологической ситуации.

3. Определить ключевые факторы, способствующие или препятствующие эффективному использованию ландшафтов для аграрных целей, и установить корреляцию между изменением показателей, характеризующих эти факторы и динамикой площадей агроландшафтов с 1990 по 2020 гг.

4. Сопоставить данные по структуре современного агроландшафта и ее динамике с данными по сохранившимся целинным степным участкам в области и заповедным фондом для определения перспектив сохранения степей как наиболее углеродоемких экосистем в регионе и формирования на их основе экологического каркаса области.

Исследование имеет важное практическое значение в связи с действием стратегических документов «Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года» (раздел «Агропромышленный комплекс»; 2013) и «Стратегия социально-экономического развития Белгородской области на период до 2025 года» (2019), а также с реализацией государственных программ: «Комплексное развитие сельских территорий» (2020-2025 гг.; Постановление …, 2019) и «Эффективное вовлечение в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развитие мелиоративного комплекса Российской Федерации» (2021-2030 гг.; Паспорт …, 2020). Кроме того, реализация в России Национального проекта «Экология» (Паспорт …, 2018) подразумевает ряд действий в период до 2024 г., которые могут для такого староосвоенного аграрно-промышленного региона, как Белгородская область, изменить структуру агроландшафта в пользу увеличения доли природных и восстанавливающихся экосистем (например, по статье «Ликвидация свалок и рекультивация территорий, на которых они размещены» или вовлечения в восстановление малопродуктивных полей и др.). Тем более в 2019 г. «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» стал базовым ВУЗом Белгородского научно-образовательного центра мирового уровня «Инновационные решения в АПК». В перспективе выполненное для данной статьи исследование позволит в рамках программы создания сети «карбоновых полигонов» разработать оптимальный режим функционирования степного агроландшафта области с определенной долей природных степных экосистем, ориентированных на респирацию парниковых газов в процессе восстановительной сукцессии. Еще в феврале 2021 г. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации запустило пилотный проект по созданию в России сети «карбоновых полигонов» для разработки и испытаний технологий контроля углеродного баланса. Институт географии РАН участвует в этих работах и перспективы Белгородской области здесь достаточно велики (Официальный сайт Минобрнауки России, 2021).

Материалы и методы исследования

Исследование территориальной дифференциации агроландшафтов Белгородской области с учетом изменения природных, социально-экономических и экологических условий базируется на методике, разработанной в Институте географии РАН под руководством Т.Г. Руновой с соавторами (1993). В основе методики лежит концепция ресурсопользования как фактора трансформации природного, эколого-географического и социально-экономического пространства (Природопользование …, 2014). Она получила развитие в работах по созданию экологически устойчивых агроландшафтов для оптимального сельскохозяйственного производства (Барсукова, Деревенец, 2016).

В работе использованы данные дистанционного зондирования при выявлении сохранившихся целинных участков степной растительности Белгородской области (Tishkov et al., 2020). Всего было выявлено более 700 участков на площади около 39 тыс. га (около 2% площади области), часть которых была описана и верифицирована полевыми методами. Имеющиеся региональные ООПТ области мелкоконтурные и оказались на карте вне масштаба. Среди ООПТ наибольшую площадь и количество составляют комплексные заказники (табл. 1).

Для решения первой задачи исследования, в приложении MS Excel была составлена база данных (БД), вмещающая сведения об изменении площадей сельскохозяйственных угодий в пределах каждого МР Белгородской области за период 1990-2020 гг., что позволило установить направления динамики площадей агроландшафтов и рассчитать изменение их площадей.

Таблица 1. Сеть региональных природных парков и заказников Белгородской области (Официальный сайт Управления ..., 2021) по состоянию на 1 августа 2021 г.

Муниципальный район	Природные парки		Природные заказники		Комплексные заказники	
	Количество	Площадь, га	Коли-чество	Площадь, га	Коли-чество	Площадь, га
Алексеевский	–	–	9	701.0	–	–
Белгородский	1	1556.2	10	9637.0	1	12860.0
Борисовский	1/2	9077.0	7	732.3	–	–
Валуйский	2	47.0	10	2192.5	2	44900.0
Вейделевский	4	75.0	4	75.0	1	9932.0
Волоконовский	1	57.0	15	495.9	2	18795.0
Грайворонский	1/2	1916.0	5	263.8	–	–
Губкинский	–	–	3	318.0	2	32823.0
Ивнянский	–	–	6	581.1	–	–
Корочанский	–	–	2	55.0	–	–
Красненский	–	–	3	91.0	1	12035.0
Красногвардейский	–	–	48	2605.1	2	4066.2
Краснояружский			2	44.4	1	10949.6
Новооскольский	1	575.0	2	319.0	–	–
Прохоровский	–	–	6	1074.3	1	9789.5
Ракитянский	–	–	8	360.9	–	–
Ровеньский	1	1338.1	2	830.0	–	–
Старооскольский	1	1091.0	3	465.4	–	–
Чернянский	–	–	3	1216.4	–	–
Шебекинский	2	269.2	20	894.7	–	–
Яковлевский	–	–	10	3182.3	–	–

В БД были добавлены показатели *наличия нарушений природной среды* (площади эрозионно-опасных земель, площади распространения оврагов, площади закарстованных земель); показатели *влагообеспеченности территории и сельскохозяйственной продуктивности климата* (величина биоклиматического потенциала (БКП) и коэффициент увлажнения Сапожниковой ($К_{увл.}$), модификации которых отражают комплексное влияние изменений региональной климатической системы на продукционные возможности агроландшафта; Снакин, Хрисанов, 2001); показатели *влияние хозяйственной деятельности на природную среду* (площади, подверженные техногенному загрязнению в ходе функционирования промышленных предприятий, объектов ГДК и АПК; площади складирования отходов производства (ОП); количество предприятий по утилизации и переработке промышленных отходов (ПО); количество объектов, имеющих стационарные источники загрязнения природной среды); показатели, *характеризующие ведение сельскохозяйственной деятельности* (объем урожайности сельскохозяйственных культур в расчете на убранную площадь и объем минеральных удобрений, внесенных под посевы сельскохозяйственных культур); *социально-экономические* показатели (численность экономически активного сельского населения; объем инвестиций, поступающих в АПК; объем продукции сельского хозяйства; количество прибыльных сельскохозяйственных организаций).

Выбор показателей связан с получением комплексной характеристики Белгородской области как региона, где происходит наращивание объемов сельскохозяйственного производства, наблюдается динамика площадей сельскохозяйственных угодий, возникают конфликты природопользования, происходит изменение численности экономически активного сельского населения и отмечается неравномерность поступления инвестиций в отрасли экономики.

На втором этапе исследования БД была интегрирована в программную среду ArcGIS, в которой был выполнен совместный пространственно-временной анализ влияния этих показателей на динамику площадей агроландшафтов на внутрирайонном уровне за период 1990-2020 гг.

Были установлены три ареала, вмещающие МР, идентичные по природным условиям, в которых сформировались агроландшафты, по характеру нарушений природной среды, по специфике хозяйственного освоения, а также по схожести экологической и социально-экономический обстановки: 1) агро-ресурсный ареал концентрации промышленности вблизи крупных городов в западной и центральной частях области, 2) агро-ресурсный ареал наличия конфликтов сельскохозяйственного и промышленного природопользования в северной части области, 3) агро-ресурсный ареал юго-восточной сельскохозяйственно-промышленной части области. Принимались во внимание межотраслевые связи между МР. Установленные ареалы демонстрируют внутрирегиональные различия организации природопользования и особенности связей, возникающих при взаимодействии природной среды, хозяйства и населения.

На третьем этапе исследования, для выявления взаимосвязи между изменением площадей агроландшафтов (в %) и изменением величины каждого показателя из БД (в %) в период 1990-2020 гг. на внутрирайонном уровне в границах каждого установленного ареала был выбран коэффициент линейной корреляции Пирсона, который рассчитывался с помощью приложения MS Excel (функция «коррел», которая выдает коэффициент корреляции двух массивов данных). Теснота корреляционной связи оценивалась по «шкале Чеддока»: слабая ($0.1 < r < 0.3$), умеренная ($0.3 < r < 0.5$), заметная ($0.5 < r < 0.7$), высокая ($0.7 < r < 0.9$), весьма высокая ($0.9 < r < 0.99$; Котеров и др., 2019). Все выявленные зависимости описываются линейными функциями с достоверным коэффициентом аппроксимации $R^2 > 0.71$. Для проверки статистической значимости коэффициента корреляции использовался t-критерий Стьюдента. Частота измерений (n) для каждого ареала соответствовала количеству МР, образующих данный ареал. Число степеней свободы (df) для каждого ареала определялось по формуле: $df = (n_1 + n_2) - 2$. Критическое значение t-критерия Стьюдента ($t_{кр}$) для уровня значимости $\alpha = 0.05$ (при котором корреляционная связь значимая) с учетом числа степеней свободы (df) сравнивалось с рассчитанным. Рассчитанное значение t-критерия Стьюдента оказалось больше $t_{кр}$, что свидетельствует о статистической значимости r (уровень значимости < 0.05). Корреляционный анализ позволил установить наиболее значимые факторы, обусловливающие динамику площадей агроландшафтов на внутрирайонном уровне в границах ареалов за анализируемый период.

На четвертом этапе исследования, данные по структуре современного агроландшафта и ее динамике в период с 1990 по 2020 гг. были сопоставлены с данными по сохранившимся целинным степным участкам Белгородской области и землям заповедного фонда.

В работе использованы официальные данные Федеральной службы государственной статистики по муниципальным районам области (Официальный сайт Росстата, 2021) и Белгородстата (Итоги …, 2018; Статистический …, 2019), доклады Росреестра (Доклад …, 2015, 2020, 2021), Департамента агропромышленного комплекса и воспроизводства окружающей среды Белгородской области (Дегтярь и др., 2016; Государственный …, 2020), Департамента экономического развития Белгородской области (Стратегия …, 2019), картографические материалы ФГБУ «Центр агрохимической службы «Белгородский» (Природные …, 2021) и НИУ «БелГУ», отчеты Министерства сельского хозяйства РФ (Гордеев и др., 2006), справочники по климату (Научно-прикладной …, 1990; Научно-прикладной …, 2018) и базы данных Национального управления океанических и атмосферных исследований (База по осадкам и температуре ..., 2021).

Принято во внимание, что Постановлением Правительства Белгородской области 15 августа 2016 г. (№ 299-пп) был утвержден перечень ООПТ регионального значения области (всего 300), среди которых преобладают участки лесов (Постановление Правительства ..., 2016) на землях лесного фонда и поселений. К собственно степным ООПТ в агроландшафте (на сельскохозяйственных землях), по-видимому, можно отнести лишь территории некоторых региональных природных заказников, например, «участок нетронутой степи у с. Ковалево» (380 га), «Меловая гора вблизи с. Беломестное» (30 га) и т.п., которые целевым образом сохраняют степные экосистемы.

В Белгородской области наблюдается уникальное, с нашей точки зрения, явление – объектами территориальной охраны природы становятся не участки сохранившейся зональной растительности (луговые и настоящие степи), а фрагменты вторичных лесов и искусственные лесные насаждения, в т.ч. на землях поселений. Отчасти этим, а также различиями в ведомственных интересах (лесохозяйственных и аграрных) можно объяснить факт, что высвобождающиеся из-под пашни

степные участки редко становятся объектами территориальной охраны.

По данным Управления лесами Белгородской области в регионе действуют 314 ООПТ на площади 301106.9 га (Официальный сайт Управления ..., 2021). В «Докладе о состоянии и использовании земель Белгородской области за 2020 год» (2021) на 1 января 2021 г. отмечено, что земли ООПТ, как и прежде, занимают 2.8 тыс. га или 0.1% от общей площади области. К ним относятся земли природного заповедника «Белогорье» и его участки: «Лес на Ворскле» в Борисовском районе, «Ямская степь» и «Лысые горы» в Губкинском районе, «Стенки Изгорья» в Новооскольском районе. Важно отметить, что эти цифры относятся к землям природоохранного назначения, а региональные ООПТ сосредоточены в основном на лесных и сельскохозяйственных землях и землях поселений и попадают в другие категории статистики. В итоге, например, региональные заказники, природные парки и памятники природы на сельскохозяйственных землях (в границах агроландшафта) фактически не представлены, хотя соответствующие данному статусу объекты (сохранившиеся участки степной растительности, старые залежи, деградированные степные выпасы и пр.) в их структуре имеются.

Результаты и обсуждение

С 1990 по 2020 гг. площади агроландшафтов Белгородской области уменьшились на 167.5 тыс. га. Динамика площадей составила: пашни – -44.5 тыс. га, пастбища – -48.7 тыс. га, сенокосы – +17 тыс. га, многолетние насаждения – +6.7 тыс. га в хозяйствах всех категорий (Официальный сайт Росстата, 2021). На протяжении 30-ти лет площади заброшенных сельскохозяйственных угодий постепенно уменьшались, степные залежи распахивались, либо переходили в земли промышленности и поселений. Шанс создания на старых залежах степных ООПТ был упущен (Китов и др., 2016). Согласно итогам Всероссийской сельскохозяйственной переписи в 2016 г. площади залежных земель составили 12.5 тыс. га – самое низкое значение в Центральном федеральном округе (Итоги ..., 2018), а к 2020 г. их площади не превысили 0.1 тыс. га (Доклад …, 2020). Площади посевов сельскохозяйственных культур *сократились на 161 тыс. га* с 1990 по 2020 гг. Пахотные земли, не выбывшие из сельскохозяйственного оборота, не переведенные в другие виды сельскохозяйственных угодий или в другую категорию, а также не используемые под посевы сельскохозяйственных культур, отводилась под посевы многолетних трав (Природные …, 2007).

Начиная с 2014 г. в некоторых МР Белгородской области отмечаются положительные тренды динамики площадей посевов (в Белгородском – +4.9%, Краснояружском – +0.5%, Новооскольском – +6.4%; Доклад …, 2015, 2020, 2021) на фоне сокращения площадей сельскохозяйственных угодий Белгородской области (на 11.2%). Несмотря на то что с 2014 г. рост площадей посевов не достиг значений 1990 г., продукция растениеводства в фактически действовавших ценах выросла на 70% при росте урожайности с 20 до 46 ц с 1 га убранной площади (Статистический …, 2019). Данный факт можно объяснить переводом сельского хозяйства на адаптивно-ландшафтную основу, внедрением систем точного земледелия, применением агротехнологий в соответствии с ландшафтно-экологическими особенностями региона, внесением удобрений и поступлением инвестиций, наибольший объем которых освоен в сельском хозяйстве (Стратегия …, 2019). В 2020 г. в России средняя урожайность зерновых культур составила 28.9 ц/га (Медведева, 2021), а в Белгородской области этот показатель достиг 55.3 ц/га, что вполне компенсирует «сжатие» аграрного пространства в области.

На территории Белгородской области выявлены ареалы, объединяющие МР со схожим изменением площадей сельскохозяйственных угодий в структуре агроландшафтов, схожей специализацией сельского хозяйства, идентичными изменениями природной, социальной, экономической и экологической ситуации в период 1990-2020 гг. (рис.).

1. Агро-ресурсный ареал концентрации промышленности вблизи крупных городов в западной и центральной частях области (рис., контур 1). Ареал расположен в лесостепной зоне и сформировался на месте злаково-разнотравных степей и остепненных лугов на слабо- и среднеэродированных черноземах типичных, черноземах выщелоченных и темно-серых лесных почвах. Среди главных природных факторов, лимитирующих развитие сельского хозяйства: карст (за период 1990-2020 гг. количество открытых карстовых форм рельефа увеличилось на 10% и составляет от 10 до 25 форм на 100 км^2) и густая долинно-балочная сеть (густота долинно-балочной

сети варьирует от 0.6 до 0.8 км/км^2; Природные …, 2021). Применяемая адаптивно-ландшафтная система земледелия, в сочетании с противоэрозионными мероприятиями, способствовала сдерживанию роста площадей эродированных угодий (Доклад …, 2020), удельный вес которых среди сельскохозяйственных угодий достигает 65% (Строков и др., 2019).

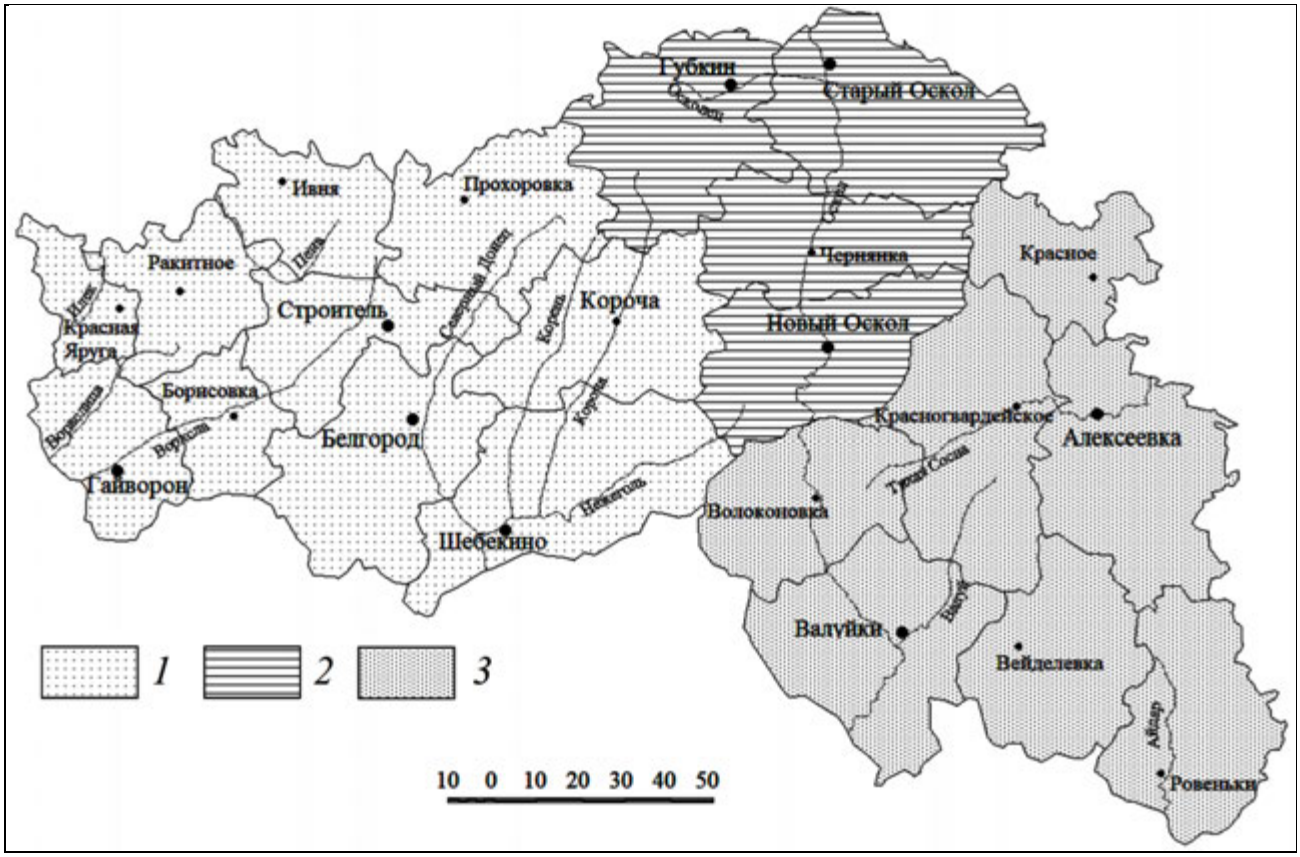


Рис. Территориальная дифференцированность агроландшафтов Белгородской области. *Условные обозначения:* 1 – агро-ресурсный ареал концентрации промышленности вблизи крупных городов в западной и центральной частях области, 2 – агро-ресурсный ареал наличия конфликтов сельскохозяйственного и промышленного природопользования в северной части области, 3 – агро-ресурсный ареал юго-восточной сельскохозяйственно-промышленной части области.

Сельское хозяйство специализируется на птицеводстве и молочном животноводстве в сочетании с овощеводством (Природные …, 2021). За 1990-2020 гг. в структуре угодий произошло увеличение доли пашни (на 7%) и сенокосов (на 5%; Официальный сайт Росстата, 2021), но площади агроландшафтов уменьшились на 4% за счет перевода земель сельскохозяйственного назначения в земли промышленности и земли населенных пунктов (Доклад …, 2015, 2020, 2021). Площади посевов сократились на 65722 га или 9.9% (Официальный сайт Росстата, 2021). По итогам Всероссийской сельскохозяйственной переписи площадь залежных земель уменьшилась на 6337.5 га (2016-2020 гг.). Агроландшафты находятся в зонах повышенной антропогенной нагрузки: вблизи пригородов, районных центров, промышленных зон и транспортных магистралей (Дегтярь и др., 2016). Загрязнение воздуха, поверхностных вод и почв оценивается как «среднее» (Стратегия …, 2019).

Установлено (табл. 2), что уменьшение площадей сельскохозяйственных угодий происходит при росте количества объектов промышленности и АПК, имеющих стационарные источники загрязнения (r = -0.49, теснота связи умеренная) – производственные комплексы, полигоны бытовых отходов, птицефабрики, молочные фермы, свиноводческие комплексы и пр., при уменьшении количества предприятий по утилизации и переработке промышленных отходов (r = 0.50, теснота связи средняя). Выявлено, что с сокращением численности трудоспособного сельского населения уменьшаются и площади сельскохозяйственных угодий (r = 0.56, теснота связи заметная). Несмотря на рост

величины БКП (+2.2%) площади агроландшафтов не увеличились, что можно объяснить уменьшением влагообеспеченности территории (изменение коэффициента увлажнения Сапожниковой ($К_{увл.}$) составило – -7.5%). Даже при уменьшении площадей сельскохозяйственных угодий в границах ареала отмечается рост урожайности сельскохозяйственных культур (на 52%) и рост производства продукции сельского хозяйства (r = -0.60, теснота связи заметная; табл. 2).

Таблица 2. Корреляционные связи между факторами (влияющими на задействование ландшафтов для аграрных целей) и динамикой площадей агроландшафтов в Белгородской области на региональном уровне в период 1990-2020 гг.

Изменение площадей агроландшафтов (в %) в границах агроресурсных ареалов	**Ключевые факторы, влияющие на задействование ландшафтов для аграрных целей (изменение (в %) показателей)***														
	природные					**хозяйственные**						**социально-экономические**			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Коэффициент корреляции (r)														
Концентрации промышленности вблизи крупных городов в западной и центральной частях области (10 муниципальных районов)	-0.41	-0.23	-0.31	-0.32	–	-0.31	-0.50	0.50	-0.49	-0.60	-0.30	0.56	–	-0.60	-0.28
Наличия конфликтов сельско-хозяйственного и промышленного природопользования в северной части области (4 муниципальных района)	-0.82	-0.42	-0.61	–	–	-0.92	-0.40	–	-0.83	–	–	0.21	0.91	-0.81	0.81
юго-восточной сельскохозяйственно-промышленной части области (7 муниципальных районов)	-0.53	-0.31	-0.21	–	0.36	0.81	-0.40	-0.20	-0.60	-0.80	–	0.53	–	-0.25	0.59

Примечания к таблице 2. Ключевые факторы, влияющие на задействование ландшафтов для аграрных целей (изменение (в %) показателей)*: 1 – площади эрозионно-опасных земель (га), 2 – площади распространения оврагов (га), 3 – площади закарстованных земель (га), 4 – величина биоклиматического потенциала; 5 – коэффициент увлажнения Сапожниковой ($К_{увл.}$), 6 – площади, подверженные техногенному загрязнению в ходе функционирования промышленных предприятий, объектов ГДК и АПК (га), 7 – площади складирования отходов производства (га), 8 – количество предприятий по утилизации и переработке промышленных отходов (единица), 9 – количество объектов, имеющих стационарные источники загрязнения природной среды (единица), 10 – урожайность сельскохозяйственных культур в расчете на убранную площадь (ц/га), 11 – внесение минеральных удобрения (в пересчете на 100% питательных веществ) под посевы сельскохозяйственных культур (центнер), 12 – численность экономически активного сельского населения (человек), 13 – объем инвестиций, поступающих в АПК (руб.), 14 – объем производства продукции сельского хозяйства (рубль), 15 – количество прибыльных сельскохозяйственных организаций (единица).

2. Агро-ресурсный ареал конфликтов сельскохозяйственного и промышленного природопользования в северной части области (рис., контур 2). Ареал приурочен к злаково-разнотравным степям и остепненным лугам, сформированным на средне- и сильноэродированных черноземах (типичных, карбонатных, выщелоченных), на серых и темно-серых лесных почвах. За период 1990-2020 гг. площадь эродированных почв в границах ареала увеличилась на 30%. Количество карстовых форм рельефа выросло на 15% и достигло 30 форм на 100 км^2. Увеличение площадей, занятых оврагами, составило 15%. Густота долинно-балочной сети достигает 1.2 км/км^2. Деградации почв подвержено около 60% площадей угодий (Строков и др., 2019).

Площади агроландшафтов за период 1990-2020 гг. сократились на 1.5% за счет перевода земель сельскохозяйственного назначения в земли промышленности и населенных пунктов (Доклад …, 2019). В структуре сельскохозяйственных угодий доля пашни увеличилась на 10%, многолетних насаждений – на 4%. Площадь залежных земель уменьшилась на 2962.9 га (2016-2020 гг.). Площади посевов уменьшились на 30452 га или 8.9% (Официальный сайт Росстата, 2021). Однако их уменьшение не было постоянным: с 2014 г. отмечается рост на 18827 га или 6.5%. Сельское хозяйство (молочное животноводство и растениеводство) зачастую осуществляется в зоне влияния открытых разработок Курской магнитной аномалии и размещения горнодобывающих предприятий (Природные …, 2021).

Отмечено ухудшение экологической обстановки вследствие загрязнения атмосферного воздуха, поверхностных вод и почв предприятиями промышленности, которое оценивается как «сильное» (Стратегия …, 2019). Разработка месторождений часто не сопровождается рекультивацией земель. Негативные последствия техногенного воздействия на природную среду сказываются на состоянии почвенно-растительного покрова: в пахотном горизонте черноземов типичных, находящихся на удалении до 20 км от ГДК, отмечено превышение содержания железа в 2-10 раз по сравнению с фоновым (Природные …, 2007; Доклад …, 2020, 2021).

Выявлено (табл. 2), что изменение площадей ландшафтов, пригодных для аграрного использования коррелирует с изменением площадей, подверженных техногенному загрязнению объектами ГДК и АПК и изменением площадей складирования ОП (r = -0.92, теснота связи высокая; r = -0.40, теснота связи умеренная, соответственно). Уменьшение площадей агроландшафтов наблюдается и при росте количества объектов, имеющих стационарные источники загрязнения природной среды (r = -0.83, теснота связи высокая). Установлено, что чем больше площадь эрозионно-опасных и закарстованных земель в ареале, тем меньше площадь ненарушенных этими процессами агроландшафтов (r = -0.82, теснота связи высокая; r = -0.61, теснота связи заметная, соответственно). В границах ареала уменьшение объемов инвестиций в АПК привело к уменьшению площадей агроландшафтов (r = 0.91, теснота связи высокая). Связь между изменением численности сельского населения и изменением площадей агроландшафтов – слабаях (табл. 2).

3. Агро-ресурсный ареал юго-восточной сельскохозяйственно-промышленной части области (рис, контур 3). Ареал сформировался на месте разнотравных типчаково-ковыльных степей на средне- и сильноэродированных карбонатно-меловых, типичных и обыкновенных черноземах. За период 1990-2020 гг. площадь эродированных почв увеличилась на 5%, удельный вес эродированных сельскохозяйственных угодий достигает 85% (Строков и др., 2019). Густота долинно-балочной сети не превышает 1 км/км^2. Количество карстовых форм рельефа увеличилось на 4% и составляет 5 форм на 100 км^2. До 20% сельскохозяйственных угодий подвержено дефляции (Природные …, 2021). За исследуемый период наблюдается увеличение величины БКП (+5.5%). Однако повышение сумм активных температур и увеличение продолжительности вегетационного периода, не компенсировали уменьшение показателей увлажнения территории (изменение коэффициента увлажнения Сапожниковой ($К_{увл.}$) достигло – -6.5%), что не способствовало улучшению продукционных возможностей агроландшафтов (Гордеев и др., 2006; Петин и др., 2017).

В границах ареала развито молочное животноводство, свиноводство, птицеводство, зерновое хозяйство и овощеводство (Природные …, 2021). Площади агроландшафтов за период 1990-2020 гг. практически не изменились, но в структуре сельскохозяйственных угодий доля пастбищ выросла на 9%. Уменьшение площадей посевов достигло 61803 га или 11% (Официальный сайт Росстата, 2021). По данным Всероссийской сельскохозяйственной переписи площадь залежных земель уменьшилась на 31564 га (2016-2020 гг.). Воздействие АПК на компоненты природной среды оценивается как «среднее» (Государственный …, 2020), не вызывающее негативных последствий для природы и населения (Стратегия …, 2019).

Установлено (табл. 2), что увеличение площадей проявления эрозии почв сопровождается уменьшением площадей пашни (r = -0.53, теснота связи заметная). По мере роста количества объектов, имеющих стационарные источники загрязнения, наблюдается уменьшение площадей незагрязненных пахотных земель (r = -0.60, теснота связи заметная). На фоне стабилизации площадей агроландшафтов отмечается увеличение объема урожайности сельскохозяйственных культур в расчете на убранную площадь (r = -0.80 теснота связи высокая, табл. 2) и рост количества

прибыльных сельскохозяйственных организаций (r = 0.59, теснота связи заметная, табл. 2). Связь между динамикой площадей агроландшафтов и изменением влагообеспеченности территории умеренная (r = 0.36), а между изменением величины БКП и изменением площади агроландшафтов – слабая. Сокращение численности трудоспособного сельского населения привело к уменьшению посевных площадей (r = 0.53, теснота связи заметная; табл. 2).

Перспективы сохранения степей Белгородской области в условиях новых трендов динамики структуры агроландшафта. В Белгородской области ООПТ всех категорий и уровней управления имеют общую площадь 47.6 тыс. га, что составляет всего 1.8% территории области. Это один из самых низких показателей среди субъектов Российской Федерации, ориентиром которого выступают рекомендации Целей Устойчивого Развития – 17%. Формирование региональной сети ООПТ здесь идет в основном за счет участков вторичных лесов и участков, непригодных для ведения сельскохозяйственной деятельности. Степи в них практически не представлены (Смелянский, Титова, 2018; Smelyansky, Tishkov, 2012), а доля лесов на ООПТ достигает 80-85% при средней площади 100-150 га, что исключает соблюдения на них заповедного режима и допускает влияние соседних используемых в хозяйстве территорий.

Выявление разных трендов состояния агроландшафта в ареалах 1-3 позволило оценить ориентированность на территориальную охрану природы, на развитие региональной сети ООПТ. Так, в границах *ареала 1* (луговостепного) с выраженной тенденцией сокращения площади агроландшафтов среди максимальных показателей площади ООПТ отмечены Борисовский (17.1%), Белгородский (15.1%) и Гайворонский (6.6%) районы, а среди районов с минимальными показателями доли площади ООПТ – Корочанский (0.02%), Шебекинский (0.6%) и Ивнянский (0.6%).

В границах *ареала 2* максимальные показатели площади региональных ООПТ отсутствуют. В целом доля их площади колеблется от 2.1% (Губкинский район) до 0.4% (Новооскольский район), в Старооскольском и Чернянском районах она 1.0%.

Степной юго-восточный *ареал 3* имеет менее контрастные показатели площади региональных ООПТ: максимальные – у Вейделевского (8.3%) и Волоконовского (6.6%) районов, минимальные – у Алексеевского (0.4%), Красногвардейского (1.1%) и Ровеньского (1.2%) районов.

Учитывая особенности депонирования углерода в степных экосистемах Белгородской области, их углеродоемкость и долговременность запасания и связывания углерода в черноземах, занимающих здесь около 75% площади, можно заключить, что расширение площади степных ООПТ позволит существенно снизить агрогенную эмиссию углерода и увеличить его фиксацию и накопление. Для луговых и настоящих степей области показано, что долгосрочные потери углерода в результате распашки здесь составляют до 20-30% его исходного содержания (Природная …, 1989; Smelansky, Tishkov, 2012). Выведение степных экосистем из распашки и установления статуса ООПТ обеспечивает в процессе вторичной сукцессии фиксацию углерода из атмосферы со скоростью от 1.0 до 2.0 т/га в год и долгосрочное (на тысячи лет) его депонирование (до 700 и более т/га). В период «забрасывания» сельскохозяйственных земель в степных областях на старте вторичной сукцессии на залежах степной зоны Русской равнины в течение первых 15 лет восстановления скорость оценивается величинами до 2.5 кг/га в год в зависимости от типа чернозема и возраста залежи; а в следующие 15 лет скорость накопления может снижаться вдвое – до 0.9 кг/га в год (Kurganova et al., 2010). Если принять во внимание время восстановления степных экосистем на залежи от 30 до 60 лет (Тишков, 2012), то перспективы формирования в границах агроландшафта Белгородской области устойчивого «ядра углеродной нейтральности» очевидны.

Выводы

За период 1990-2020 гг. на территории Белгородской области сформировались ареалы, вмещающие муниципальные районы со схожими трендами изменения площадей сельскохозяйственных угодий в структуре агроландшафтов, со схожей специализацией сельского хозяйства, идентичными изменениями природной, социальной, экономической и экологической ситуации: 1) *агро-ресурсный ареал концентрации промышленности вблизи крупных городов в западной и центральной частях области,* 2) *агро-ресурсный ареал наличия конфликтов сельскохозяйственного и промышленного природопользования в северной части области,* 3) *агро-ресурсный ареал юго-восточной сельскохозяйственно-промышленной части области.* Комплексный

анализ характера природных условий, хозяйственных и социально-экономических связей, действующих между МР в границах каждого ареала, может способствовать решению задач, нацеленных на создание оптимальной пространственной организации отраслевого ведения сельского хозяйства Белгородской области и разработке механизмов по уменьшению углеродного следа на внутрирайонном уровне.

В границах установленных ареалов с запада на северо-восток и юго-восток уменьшение площадей агроландшафтов менее масштабно, однако их агроприродный потенциал снижается, что связано с усилением действия негативных природных и экологических факторов, с недостаточным внедрением адаптивно-ландшафтной системы земледелия в процесс сельскохозяйственного производства, с диспропорцией объемов инвестирования в АПК (из более 300 млрд. рублей, инвестированных в АПК за последние 15 лет, более половины пришлось на промышленное птицеводство и свиноводство, а собственно совершенствование системы земледелия, по-видимому, не получило достаточного финансирования (Грицков, 2020)), а также с сокращением численности трудоспособного населения, занятого в сельском хозяйстве. Масштабы проявления конфликтов сельскохозяйственного и промышленного природопользования увеличиваются в восточном и северо-восточном направлении.

В ареале 1 уменьшение площадей агроландшафтов за исследуемый период обусловливают: увеличение площадей складирования ОП, уменьшение количества предприятий по утилизации и переработке промышленных отходов (ПО), сокращение численности экономически активного сельского населения. *В ареале 2* уменьшение площадей агроландшафтов связано с увеличением площадей эрозионно-опасных и закарстованных земель; увеличением площадей, подверженных техногенному загрязнению в ходе функционирования предприятий ГДК и АПК; увеличением количества объектов, имеющих стационарные источники загрязнения природной среды и снижением объемов инвестиций в АПК. *В ареале 3* на характер динамки площадей агроландшафтов оказывают влияние: уменьшение влагообеспеченности территории; увеличение количества прибыльных сельскохозяйственных организаций; увеличение количества объектов, имеющих стационарные источники загрязнения; снижение численности экономически активного сельского населения.

Поддержанию высокоэффективного аграрного производства Белгородской области может способствовать рациональное территориальное размещение агроландшафта с учетом действующих природных, хозяйственных, экологических и социальных факторов, а также оптимизация его структуры за счет увеличения доли и площади степных ООПТ, на которых при старте восстановительных процессов в черноземах будет идти накопление углерода со скоростью от 1.0 до 2.0 (2.5) т/га в год до восстановления его зонального пула (до 700 т/га и выше). Компенсация потерь углерода в аграрном производстве возможна при выборе оптимальной доли степных ООПТ в агроландшафте (по-видимому, не менее 10-15%), которая рассчитывается по разнице средних скоростей эмиссии и фиксации углерода. В перспективе, именно такое направление оптимизации агроландшафта в Белгородской области позволит выйти на «углеродную нейтральность» аграрного производства и формирование «карбонового АПК».

Финансирование. Статья подготовлена по теме Государственного задания № 0148-2019-0007 (АААА-А19-119021990093-8) «Оценка физико-географических, гидрологических и биотических изменений окружающей среды и их последствий для создания основ устойчивого природопользования».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

База по осадкам и температуре Национального управления океанических и атмосферных исследований (NOAA). 2021 [Электронный ресурс www.ncdc.noaa.gov/cdo-web/ (дата обращения 30.10.2021)].

Барсукова Г.Н., Деревенец Д.К. 2016. Эколого-ландшафтный подход к организации сельскохозяйственного производства как условие решения проблемы продовольственной безопасности // Научный журнал КубГАУ. № 115 (01). С. 1-15.

Гордеев А.В., Клещенко А.Д., Черняков Б.А., Сиротенко О.Д. 2006. Биоклиматический потенциал России: теория и практика. М.: КМК. 512 с.

Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Белгородской области в 2019 году. 2020. Белгород: Правительство Белгородской области, Департамент АПК и воспроизводства окружающей среды

Белгородской области. 217 с.

Грицков Е. 2020. Белгородская область вошла в топ-10 регионов по инвестиционной привлекательности АПК. 2020 [Электронный ресурс https://bel.ru/news/economy/31-08-2020/belgorodskaya-oblast-voshla-v-top-10-regionov-po-investitsionnoy-privlekatelnosti-apk (дата обращения 21.10.2021)].

Дегтярь А.В., Григорьева О.И. 2016. Развитие сети особо охраняемых природных территорий Белгородской области // Научный результат. Серия Технологии бизнеса и сервиса. Т. 2. № 4. С. 18-29.

Дегтярь А.В., Григорьева О.И., Татаринцев Р.Ю. 2016. Экология Белогорья в цифрах. Белгород: Константа. 122 с.

Доклад о состоянии и использовании земель Белгородской области за 2014 год. 2015. Белгород: Управление Росреестра по Белгородской области. 84 с.

Доклад о состоянии и использовании земель Белгородской области за 2019 год. 2020. Белгород: Управление Росреестра по Белгородской области. 95 с.

Доклад о состоянии и использовании земель Белгородской области за 2020 год. 2021. Белгород: Управление Росреестра по Белгородской области. 89 с.

Итоги Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 года (в 6 т.). 2018. Т. 3. Земельные ресурсы и их использование. Белгород: Белгородстат. 125 с.

Китов М.В., Григорьева О.И., Цапков А.Н. 2016. О результатах оценки площади залежных земель в Белгородской области // Степной бюллетень. № 46. С. 29-35.

Котеров А.Н., Ушенкова Л.Н., Зубенкова Э.С., Калинина М.В., Бирюков А.П., Ласточкина Е.М., Молодцова Д.В., Вайнсон А.А. 2019. Сила связи. Сообщение 2. Градации величины корреляции // Медицинская радиология и радиационная безопасность. Т. 64. № 6. С. 12-24.

Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Швиденко А.З., Сапожников П.М. 2010. Изменение общего пула органического углерода в залежных почвах России в 1990-2004 гг. // Почвоведение. № 3. С. 361-368.

Лопес де Гереню В.О., Курганова И.Н., Ермолаев А.М., Кузяков Я.В. 2009. Изменение пулов органического углерода при самовосстановлении пахотных черноземов // Агрохимия. № 5. С. 5-12.

Медведева А. 2021. Производство зерна в России 2020: структура посевных площадей и урожайность [Электронный ресурс www.agroxxi.ru/analiz-rynka-selskohozjaistvennyh-tovarov/proizvodstvo-zerna-v-rossii-2020-struktura-posevnyh-ploschadei-i-urozhainost.html (дата обращения 17.05.2021)].

Научно-прикладной справочник по климату СССР. 1990. Серия 3. Многолетние данные. Ч. 1-6. Вып. 28. Л.: Гидрометеоиздат. 366 с.

Научно-прикладной справочник «Климат России». 2018 [Электронный ресурс www.aisori-m.meteo.ru (дата обращения 10.09.2021)].

Некрич А.С., Люри Д.И. 2019. Изменения динамики аграрных угодий России в 1990-2014 гг. // Известия РАН. Серия географическая. № 3. С. 64-77.

Официальный сайт Росстата. 2021 [Электронный ресурс www.rosstat.gov.ru (дата обращения 25.09.2021)].

Официальный сайт Управления лесами Белгородской области. 2021 [Электронный ресурс https://beluprles.ru/navigator-po-oopt/ (дата обращения 01.08.2021)].

Официальный сайт Минобрнауки России. 2021 [Электронный ресурс https://minobrnauki.gov.ru/action/poligony/ (дата обращения 22.09.2021)].

ПАСПОРТ государственной программы (комплексной программы) Российской Федерации Государственная программа эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации. 2020. М. 34 с.

Паспорт Национального проекта «Экология». 2018. М. Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации. 32 с.

Петин А.Н., Лебедева М.Г., Петина М.А., Чендев Ю.Г., Крымская О.В. 2017. Применение ГИС-технологий для оперативной оценки агроклиматических условий // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Т. 23. С. 209-219.

Постановление Правительства Белгородской области от 15 августа 2016 года № 299-пп «Об утверждении перечней особо охраняемых природных территорий регионального значения Белгородской области». 2016 [Электронный ресурс https://docs.cntd.ru/document/441631076 (дата обращения 17.09.2021)].

Постановление Правительства РФ от 31.05.2019 N 696 (ред. от 10.07.2020). 2019. "Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Комплексное развитие сельских территорий" и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации" [Электронный ресурс https://mcx.gov.ru/upload/iblock/725/725f4b61b8ed39429ca08316f6e7456d.pdf (дата обращения 17.09.2021)].

Природная среда Европейской части СССР (опыт регионального анализа). 1989. М.: Институт географии АН СССР. 229 с.

Природные ресурсы и окружающая среда Белгородской области. 2007 / Ред. С.В. Лукина. Белгород: БелГУ. 556 с.

Природные ресурсы и экологическое состояние Белгородской области: электронный атлас. 2021 [Электронный ресурс www.maps.bsu.edu.ru›atlas/ (дата обращения 21.09.2021)].

Природопользование в территориальном развитии современной России. 2014. М.: Медиа-Пресс. 360 с.

Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года. 2013. М.: Минэкономразвития России. 354 с.

Рунова Т.Г., Волкова И.Н., Нефедова Т.Г. 1993. Территориальная организация природопользования. М.: Наука. 208 с.

Серпуховитина Т.Ю., Жилинкова А.П. 2014. Экономическая политика в области охраны окружающей среды и рационального природопользования на примере Белгородской области // Фундаментальные исследования. № 11 (9). С. 2050-2054.

Смелянский И.Э., Титова С.В. 2018. Представленность степных экосистем в ООПТ России после 2000 года // Степи Северной Евразии. Материалы VIII Международного симпозиума (10-13 сентября 2018 г., Оренбург) / Ред. А.А. Чибилев. Оренбург: ИС УрО РАН. С. 905-908.

Снакин В.В., Хрисанов В.Р. 2001. Биопродуктивность как фактор устойчивости ландшафта // Использование и охрана природных ресурсов в России. № 10. С. 60-67.

Состояние окружающей среды и использование природных ресурсов Белгородской области в 2003-2004 годах. 2005. Белгород: Изд-во БелГУ. 180 с.

Статистический ежегодник. Белгородская область. 2019. Белгород: Белгородстат. 600 с.

Стратегия социально-экономического развития Белгородской области на период до 2025 года (ред. от 25 января 2010 г. n 27-пп). 2019. Белгород: Департамент экономического развития Белгородской области. 387 с.

Строков А.С., Макаров О.А., Светлов Н.М., Логинова Д.А. 2019. Использование земельных ресурсов в сельском хозяйстве Белгородской области // Экономика региона. Т. 15. Вып. 3. С. 893-907.

Суховеева О.Э., Золотухин А.Н., Карелин Д.В. 2020. Климатообусловленные изменения запасов органического углерода в пахотных черноземах Курской области // Аридные экосистемы. Т. 26. № 2 (83). С. 72-79. [*Sukhoveeva O.E., Zolotukhin A.N., Karelin D.V.* 2020. Climate-Determined Changes of Organic Carbon Stocks in the Arable Chernozem of Kursk Region // Arid Ecosystems. Vol. 10. No. 2. P. 148-155.]

Тишков А.А. 2013. Устойчивое развитие черноземных регионов России – миф или реальность ближайшего будущего // Проблемы региональной экологии. № 4. С. 262-264.

Тишков А.А. 2012. Сукцессии растительности зональных экосистем: сравнительно-географический анализ, значение для сохранения и восстановления биоразнообразия // Известия Самарского научного центра РАН. Т. 14. № 1 (5). С. 1387-1390.

Тишков А.А. 2003. Десять приоритетов сохранения биоразнообразия степей России // Степной бюллетень. № 14. С. 10-18.

Чендев Ю.Г., Хохлова О.С., Александровский А.Л. 2017. Агрогенная эволюция автоморфных черноземов лесостепи (Белгородская область) // Почвоведение. № 5. С. 515-531.

Kurganova I., Kudeyarov V., Lopes de Gerenyu V. 2010. Updated estimate of carbon balance on Russian territory // Tellus B: Chemical and Physical Metheorolog. Vol. 62. Is. 5. P. 497-505.

Nekrich A.S. 2021. Agricultural lands in the steppe Belgorod region: specifics of use and causes of dynamics // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 817. P. 012075.

Smelansky I.E., Tishkov A.A. 2012. The Steppe Biome in Russia: Ecosystem Services, Conservation Status, and Actual Challenges // Eurasian Steppes. Ecological Problems and Livelihoods in a Changing World, Plant and Vegetation. Vol. 6. P. 45-101.

Tishkov A.A., Belonovskaya E.A., Zolotukhin N.I., Titova S.V., Tsarevskaya N.G., Chendev Yu.G. 2020. Preserved Sections of Steppes as the Basis for the Future Ecological Framework of Belgorod oblast // Arid Ecosystems. Vol. 10. No. 1. P. 36-43. [*Тишков А.А., Белоновская Е.А., Золотухин Н.И., Титова С.В., Царевская Н.Г., Чендев Ю.Г.* 2020. Сохранившиеся участки степей как основа будущего экологического каркаса Белгородской области // Аридные экосистемы. Т. 26. № 1 (82). С. 43-53.]

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2022, том 28, № 2 (91), с. 27-39

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

*UDC 630*261; 630*91*

ИНТЕГРИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ И МОНИТОРИНГУ СОСТОЯНИЯ ЛЕСОВ В ЗАСУШЛИВЫХ РЕГИОНАХ СУДАНА

© 2022. Н.А.Х. Гадаллах*, **, И.С.А. Таха*, А.И.А. Хано*, **, А.А.Х. Сиддиг*, ****, *****, Хай Цзян Бо*****

**Хартумский университет, факультет лесного хозяйства, кафедра охраны и защиты лесов*
Судан, 11111, г. Хартум, просп. Аль-Гамаа, п/о 321. E-mail: naouofk@gmail.com
***Институт исследований опустынивания и возделывания пустынь Хартумского университета*
Судан, 11111, г. Хартум, просп. Аль-Гамаа, п/о 321
****Министерство сельского хозяйства и природных ресурсов*
Судан, штат Северный Кордофан, г. Эль-обейд
*****Массачусетский университет в Амхерсте, факультет охраны окружающей среды*
США, 01003-9285, Массачусетс, г. Амхерст
******Центр по связям с Африкой, Северо-Западный университет сельского и лесного хозяйства*
Китай, 712100, г. Шэньси, Янлин, Тайчэн Роуд, д. 3

Получена 11.10.2021. После доработки 27.11.2021. Принята к публикации 01.12.2021.

Лесной покров и экологические функции лесных ресурсов неустойчивы в засушливых районах Судана. Надежная и своевременно полученная информация об их текущем статусе является решающей задачей для оценки их социально-экономических и экологических преимуществ в рамках экологической политики страны. А потому это исследование было направлено на разработку систем для оценки и мониторинга древесного покрова лесов, угроз и нарушений, которым они подвержены, а также потребностей и деятельности людей, зависящих от леса и проживающих на территории массива Вад эль-Башир, с целью создания базы данных для планирования и разработки стратегий по управлению лесными ресурсами. В ходе работы использовались наземны и социально-экономические (структурированное анкетирование и интервью при участии ключевых информантов) исследования, а также специальные геолого-геофизические данные (спутниковые снимки за 1988, 2008, 2018 гг.), которые выступали в качестве интегрированных методов оценки и картирования прошлого и текущего состояния лесов и нарушений в них. В результате наземных исследований были обнаружены, а затем географически отмечены участки биотических и абиотических нарушений, включая вредоносную деятельность человека (вырубка леса), которые повлияли на здоровье деревьев и вызвали его ухудшение. Биотическими угрозами стали инвазивные виды (*Acacia nubica*), насекомые-вредители (*Sinoxylon senegalensis*) и лианы, в то время как абиотическое воздействие (ветер) оказалось мягким. С другой стороны, результаты социальных опросов указывают на прямые и косвенные причины обезлесения и деградации лесов. Прямыми являются преобразование лесных угодий в сельскохозяйственные, незаконные вырубки и неконтролируемый выпас скота. Косвенными оказались неправильная реализация лесной политики, увеличение населения, бедность и существующая система землевладения. Геопространственный метод показал значительные изменения в землепользовании/наземном покрове: в 2008 г. лесной покров был значительным и составлял 72.2% по сравнению с 1988 г. (63.8%) и 2018 г. (58%). Кроме того, данные 2018 г. охватывают более обширную площадь сельхозугодий, чем данные за 1988 и 2008 гг., – 38%, 25.9% и 6.1% соответственно. Сделан вывод об эффективности использования указанных методов в качестве общей системы, которая может дать представление обо всех аспектах истинного состояния лесных территорий.

Ключевые слова: оценка и мониторинг лесов, леса засушливых районов, наземные и социально-экономические исследования, угрозы и нарушения лесов, Судан.
DOI: 10.24412/1993-3916-2022-2-27-39

Лесные ресурсы лежат в центре мировых дискуссий об окружающей среде, изменении климата и сохранении биоразнообразия, особенно в таких уязвимых районах, как страны к югу от Сахары,

например, Судан (Ahuja, 2018; Alam, 2013; de Jong et al., 2018; Pawar, Роткар, 2015; Report of the United Nations ..., 1992). Они не только представляют собой многочисленные и одни из самых разнообразных экосистем на планете, но также служат убежищем для многих видов, обеспечивают пропитание и работу для значительной части человеческого населения (The State of World's Forest …, 2018a; Keenan et al., 2015; Parrotta et al., 2016). P.S. Roy с соавторами (2002) рассматривают леса как один из наиболее важных возобновляемых источников для производства древесины, бумаги, угля и топлива, а также других недревесных продуктов. В их исследовании показаны последствия исчезновения лесов, которое может создать ряд серьезных экологических проблем, таких как эрозия почвы, опустынивание, отложение осадков, наводнения и потеря ценных ресурсов для обеспечения жизни людей. Таким образом, нас крайне беспокоит тот факт, что леса Судана сокращаются угрожающе быстро, что, в свою очередь, если не предпринять необходимых действий, может вызвать в стране деградацию земель, эрозию почвы и процессы опустынивания (Global Forest Resources, 2015; Gadallah et al., 2019).

В мире засушливые земли окружают более 11 млрд. га леса, деревья которых, как правило, являются неотъемлемой частью продовольственной системы, поскольку среди них процветают сельскохозяйственные культуры и домашний скот (Trees, Forests ..., 2016; Milton, 2015; Pretzsch, 2005). Листья и плоды таких видов, как *Adansonia digitata* L., 1753 и *Faidherbia albida* (Delile) A.Chev., являются источником пищи для людей и кормом для животных, а потому эти деревья считаются ценными в системах агролесоводства (Amin, Abdalla, 2006; Trees, Forests ..., 2016). Почти 50% Африки заняты засушливыми землями, полностью или частично протянувшимися на территории 15 стран Западной и Центральной Африки и 15 стран Восточной и Южной Африки (Guidelines on ..., 2010). Но на уровне страны больше, чем где бы то ни было еще, лесные ресурсы засушливых районов Судана могут поспособствовать сокращению бедности и обеспечению продовольственной безопасности, если будут должным образом изучены, оценены, подвергнуты тщательному мониторингу и правильному управлению (Adam, Eltayeb, 2016; Guidelines on ..., 2010; Mohamed, 2005). До сих пор о состоянии местных лесов, биотических и абиотических угрозах для них и, что важно, о зависящих от них видах человеческой деятельности в Судане известно крайне мало. Это критический пробел, поскольку устойчивость лесов имеет решающее значение для окружающей среды, а также существования и благополучия миллионов людей, живущих на лесных территориях (Pretzsch, 2005). Более того, установлено, что эффективное использование лесных ресурсов требует планирования и управления на основе полученных о них данных, что само по себе требует актуальной информации о состоянии лесов и распределении факторов, им угрожающих (Achard et al., 2017; Keenan et al., 2015; Khatri et al., 2018; Looyen et al., 1994; MacDicken et al., 2015).

Как правило, для эффективного повышения роли лесов в удовлетворении основных человеческих потребностей очень важно, чтобы учитывалось и изучалось воздействие на них основных факторов беспокойства и изменений, особенно в развивающихся странах, таких как Судан. Во множестве литературных источниках говорится о том, насколько надежная и своевременная информация о состоянии лесных ресурсов важна для их использования, а также для помощи государственным органам и другим заинтересованным сторонам в оценке и мониторинге эффективности ведущейся лесной политики и существующих программ управления (GOFC-GOLD, 2012; Grecchi et al., 2017; MacDicken et al., 2015). И, наоборот, недостаточная информация о состоянии лесов чревата неточной оценкой того, как они используются в стране, затруднениями в планировании лесного хозяйства, заблуждением контролирующих организаций и спонсоров при постановке целей и выборе приоритетных проектов, а также затруднениями при оценке прогресса, достигнутого в направлении устойчивого лесопользования (Köthke et al., 2013; MacDicken et al., 2015; Sunderland et al., 2017; Siddig, 2019). Таким образом, любая оценка и мониторинг лесных экосистем, не учитывающие все существующие аспекты, связанные с лесами, являются неполными.

Во всем мире для оценки и мониторинга лесов применяются разнообразные методы (GOFC-GOLD, 2012; Keenan et al., 2015; Köhl et al., 2006; Looyen et al., 1994; MacDicken, 2015; Mitchard et al., 2011; Mandallaz, 2008; Sunderland et al., 2017). Например, результаты дистанционного зондирования являются ключевым источником информации при мониторинге изменений лесного покрова за последние десятилетия, особенно для Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединённых Наций (ФАО) при оценке лесных ресурсов (Forest Resources Assessment ..., 2015;

Marklund, Schoene, 2006; Nimir, Abdelsalam, 2005). Такая оценка проводится с использованием двух взаимодополняющих подходов: первый основан на статистическом анализе существующих, достоверных учетных данных по лесам разных стран; второй использует многолетние наблюдения за лесным покровом с использованием спутниковых изображений высокого разрешения для статистически выбранных местоположений (Keenan et al., 2015; Roy et al., 2002). Однако эту оценку можно считать единственным возможным способом отслеживать последовательные изменения лесного покрова во времени (Shimabukuro et al., 2014). А потому наше исследование направлено на рассмотрение мелких факторов на местном уровне или в небольших масштабах, таких как лес Вад аль-Башир. Тем не менее, для определения угроз лесам и основных факторов изменения лесного покрова трудно руководствоваться только данными дистанционного зондирования, не собрав при этом информацию о лесе и зависящих от него людях и сообществах, поскольку покров, разнообразие и эко-функции таких лесов постоянно меняются.

В Судане, как и во многих развивающихся странах, не хватает структур и методов для систематической, постоянной, долгосрочной оценки и мониторинга лесов, особенно в засушливых районах. Следовательно, существует необходимость исправить эту ситуацию, чтобы улучшить представления о видовом составе местных лесов, их состоянии, нарушениях, которым они подвергнуты, а также изменениях и тенденциях лесного покрова, чтобы затем планировать эффективное использование, сохранение, восстановление и устойчивое управление лесными ресурсами, что, в свою очередь, поспособствует развитию страны.

Оценка леса с помощью сбора образцов широко привлекает внимание многих авторов и организаций, поскольку она затрагивает измерение таких важных параметров, как изобилие, распределение, состояние, изменение и тенденция лесных ресурсов (Looyen et al., 1994; Roy et al., 2002; Sloan, Sayer, 2015; Sunderland et al., 2017). Существуют различные методы отбора образцов для обследования определенной территории. Они выбираются в соответствии с биофизическими и социально-экономическими характеристиками изучаемой популяции и направлены на уточнение определенных параметров в рамках заданного бюджета (Achard et al., 2017; Ashraf et al., 2017; Bos et al., 2017; Dons et al., 2016). В лесных районах деревья, их состояние и условия произрастания, а также соседство с зависящими от них людьми подпадают под тематическое изучение и оценку как вызывающие наибольшую озабоченность. Однако такие методы по-своему ограничены, а потому желательным и выгодным является только их комплексное применение.

В последнее время ФАО (Case Studies on ..., 2009) рассматривает систематический полевой сбор образцов и дистанционное зондирование основой для сбора данных для последующей оценки и мониторинга лесов, т.к. оба метода дополняют друг друга. Тем не менее, эти методы не включают в себя такие важные вопросы, как изучение потребностей и деятельности людей на лесных территориях. M. Köhl с соавторами (2006) показали, как использовать пробные площадки и социальные исследования для сбора более широкого спектра биофизических и социально-экономических данных посредством измерений, наблюдений и проведением интервью с местными жителями. Дистанционное зондирование служит для сбора геопространственных данных (географическое положение и площадь лесов, изменения в землепользовании), которые невозможно получить при полевых работах, а также помогает повысить качество статистических данных в тех случаях, когда полевые исследования ограничены (Keenan et al., 2015; Schneibel et al., 2017).

Цель нашего исследования – определить и разработать подходящие методы для оценки и мониторинга лесных ресурсов засушливых районов Судана, используя при этом 3 вида данных: биофизические, социально-экономические и географические с использованием трех подходов.

Материалы и методы

Территория исследования. Штат Гедарев занимает 78 тыс. км^2 в Восточном Судане, растянувшись между 33-36° в.д. и 12-15° с.ш. На западе он граничит со штатами Хартум и Гезира, с Кассла на севере, с Сеннеаром на юго-западе. Из всей его популяции, которая в 2008 году составила 1419485 человек, 27% проживают в городах, а 73% являются сельскими жителями. Сельское хозяйство было и по-прежнему остается основной экономической деятельностью региона; следующими по значимости являются разведение домашнего скота, сбор смолы гуммиарабик и торговля лесными ресурсами (Glover, 2005; Hemida, 2016).

Лес Вад аль-Башир расопложен между регионами Эль-Хавата и Эль-Мафаза, в западной части штата (географические координаты: 34° 36′ 36″-34° 37′ 30″ в.д., 13° 30′ 9″-13° 33′ 19″ с.ш.), и покрывает 3468 га. Как показали M.N. Harrison и J.K. Jackson (1958), на карте растительности Судана штат Гедареф находится в зоне лесной саванны на глине, с малым количеством осадком. Лес расположен в месте, где один из главных типов растительности этой зоны переходит в другой, – возле колючих зарослей *Acacia mellifera* (*Senegalia mellifera* (M. Vahl) Seigler & Ebinger) и леса, сформированного *Acacia seyal-Balanites aegyptiaca*. Таким образом, мы выбрали данный район из-за его географического положения в засушливых районах Судана, поскольу он является штатом второго класса (умеренно опустыненный), с некогда достаточно хорошим растительным покровом, который в настоящее время серьезно деградировал в результате нерационального механизированного земледелия, чрезмерной вырубки леса и перевыпаса (Sudan National Action Programme, 2006).

По климату лес Вад эль-Башир находится в полузасушливой зоне с летними дождями и теплой зимой. Осадки здесь имеют одномодальный характер, выпадая в пределах от 400 до 800 мм, при среднегодовом уровне 600 мм (рис. 1), и колеблются между июнем и сентябрем, достигая своего пика в августе (Glover, 2005; Hemida, 2016). Юго-западный муссонный морской ветер, приносящий дожди, дует в районе Гедарефа с мая по октябрь, а затем с ноября по апрель. В районе преобладает северный ветер. Температура очень высокая летом, мягкая зимой. Среднесуточная максимальная температура колеблется от +25°C до +40°C, а среднесуточная минимальная – от +13°C до +20°C (рис. 2). В сезон дождей относительная влажность повышается на 20-70% (Glover, 2005).

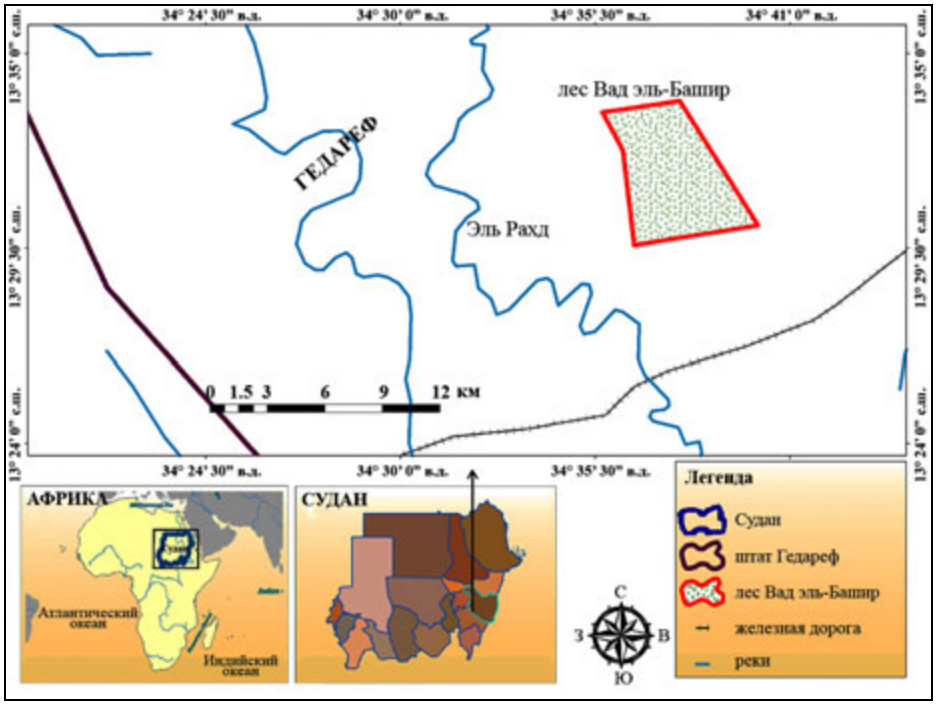


Рис. 1. Территория исследования, лес Вад эль-Башир, юго-запад штата Гедареф в Судане.

Методы исследования. Мы использовали 3 метода для оценки и мониторинга лесов в рамках одной крупной, единообразной и комплексной системы оценки, охватывающей и экологические, и социальные аспекты. Она состоит из трех взаимодополняющих методов оценки лесов: наземных исследований, геопространственных исследований и социальных исследований.

Наземные исследования и оценка. Данный подход в основном предназначен для оценки параметров биофизического состояния леса. Утверждается, что он меняется в зависимости от типов и состояния исследуемого леса (Roy et al., 2002), однако многие виды лесов, такие как засушливые леса Судана, изучены недостаточно. Для подготовки и проектирования пробных гео-площадок использовалось программное обеспечение Map-Source, версия 6.11.5 (Garmin Ltd., Ленекса, Канзас, США) и Arc-Map 10.5 (ESRI, Редлендс, Калифорния, США), после чего участки были посещены непосредственно исследователями. Спроектированные площади имеют круглую (радиус 100 м)

форму, как показано на рисунке 2.

На каждой пробной площадке были учтены типы угроз: вредители, болезни или их симптомы, наличие вырубки, наличие пожаров, наличие выпаса скота, сельскохозяйственная деятельность, наличие шурфов, воздействие ветра, – а также виды деревьев, с и без повреждений, их восстановление, доминирующие виды. Этот метод позволил точно оценить и отобразить текущее состояние леса с 11 по 17 декабря 2017 года, включая присутствующие в нем абиотические и биотические нарушения. Перед проведением анализа собранные путем наземных исследований данные были классифицированы. Угрозы лесам и деревьям отнесены в одну категорию, поскольку влияют на их продуктивность; восстановление и видовое разнообразие – в другую.

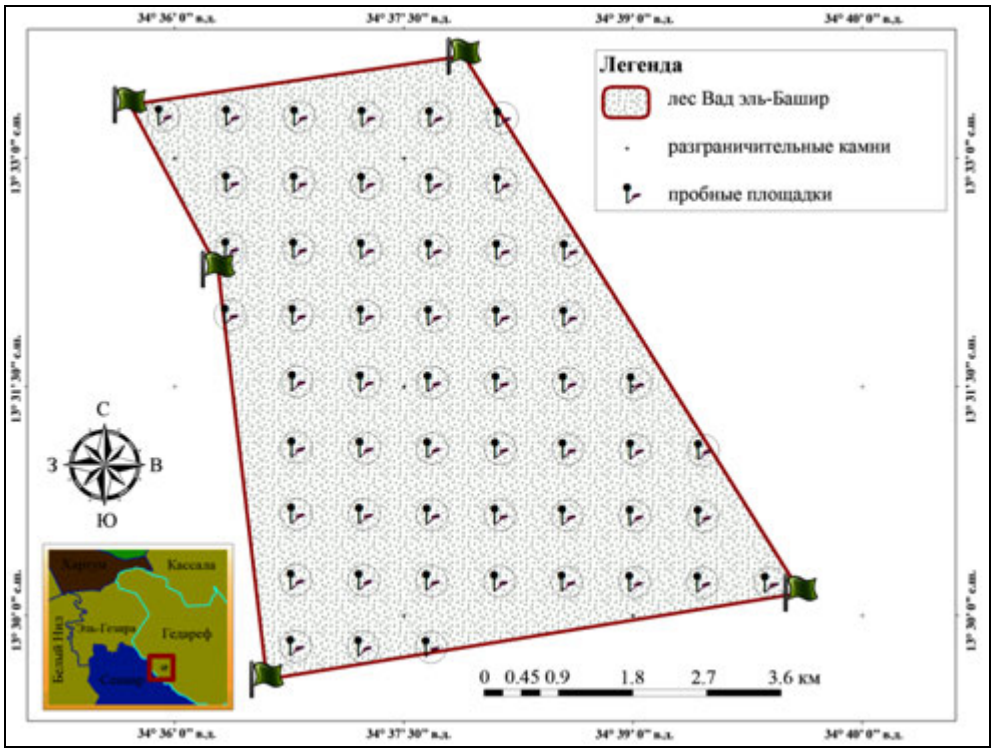


Рис. 2. Система круглых пробных площадок в лесу Вад эль-Башир.

Следовательно, факторы, которые ухудшили состояние леса или его деревьев, были закодированы и получили соответствующие оценки от 0 до 10, где 0 свидетельствует об отсутствии угрозы, 5 – о незначительном ее появлении, а 10 – о сильном воздействии и наличии такого фактора (табл.). Впоследствии наличие и серьезность угроз были географически привязаны к месту и отображены на картах.

Социально-экономическое исследование. Второй подход в нашем исследовании по оценке и мониторингу лесных ресурсов засушливых районов был сосредоточен на людях, зависящих от лесных ресурсов и живущих поблизости от лесов, играющих для них жизненно важную роль. Мы использовали метод социального опроса, с помощью которого провели интервью с 61 респондентом и 5 ключевыми информантами. Данные затем собрали и сделали целенаправленную выборку из лидеров общин, кочевников, фермеров, а также работников лесных хозяйств в качестве ключевых информаторов. Разработанный структурированный вопросник был случайным образом использован для сбора данных среди обычных семей, что помогло нам изучить историю леса Вад аль-Башир с точки зрения его прошлого и нынешнего видового разнообразия, ухудшения или улучшения его состояния, прямых и косвенных причин его обезлесения или деградации, с акцентом на доминирующие причины. В анкете обсуждались не только широко распространенные вредители, но и наиболее эффективные меры для их выведения.

Анализ такого рода данных требует предварительной обработки, после чего они были проанализированы с использованием статистического пакета для социальных наук (Statistical Package

for Social Sciences, версия 25, IBM, Армонк, Нью-Йорк, США) и Microsoft Excel (версия 2016 года – Microsoft, Редмонд, Вашингтон, США). Описательная статистика использовалась для демографических характеристик респондентов, а также для их распределения по различным категориям и комбинациям: тип землепользования, источник дохода, землевладение, получение материальных и нематериальных благ леса, источник используемой энергии и строительных материалов, вымершие виды деревьев, состояние леса, причины обезлесения или деградации. Для каждой категории были подсчитаны частота встречаемости и процентное соотношение.

Таблица. Угрозы лесу и деревьям, их коды и показатели.

№	Факторы беспокойства	Серьезность факторов беспокойства по количеству пострадавших деревьев			
		Код	Отсутствует (0)	Средняя (1-5)	Серьезная (6-10 и выше)
1	сельхоздеятельность	AA	0	5	10
2	незаконная вырубка	IC	0	5	10
3	инвазивные виды	ISpp.	0	5	10
4	выпас домашнего скота	GA	0	5	10
5	лесные пожары	FF	0	5	10
6	ветер	WE	0	5	10
7	лианы	CE	0	5	10
8	насекомые	IE	–	5	10
9	болезни	DE	0	5	10

Геопространственные методы оценки наземного покрова/типа землепользования. Третий метод использует данные дистанционного зондирования, с помощью которых можно отслеживать геопространственные изменения наземного покрова и типов землепользования на нужной территории. Для этого мы воспользовались снимками Landsat, которые были бесплатно загружены с веб-сайта Геологической службы США (United State Geological Survey), колонка 172, ряд 51, пространственное разрешение – 30 м. Спутниковые изображения из Landsat 5 (TM), Landsat 7 (ETM) и Landsat 8 (OLI_TIRS), на которых отсутствовали облака, были загружены для 1988, 2008 и 2018 гг., т.к. десятилетия считаются более репрезентативными для исследования недавних исторических изменений и потенциально более подходящими из-за наличия дополнительных данных за недавний период времени.

Вышеупомянутые снимки были предварительно откалиброваны. Для идентификации классов были проведены геометрическая и атмосферная коррекция, наложение слоев, контрастное растяжение и формирование цветового композита. Для определения классов территории были изучены методы слияния изображений Landsat TM, NDVI для изображений TM, ETM и OLI-TIRS. Классификация по методу максимального подобия (MLC) использовалась для классификации типов землепользования и наземного покрова (LULC) на основе данных спутниковых снимков за 1988, 2008 и 2018 гг. MLC считается наиболее широко используемым алгоритмом параметрической классификации и классификацией LULC (Salih et al., 2017). Этот процесс учитывает спектральные характеристики спутниковых изображений и данные о типах землепользования и наземного покрова изучаемой области, где для определения наземных точек каждого класса использовалось GPS. Большое внимание было направлено на разработку сигнатур из обучающих выборок и спектральной разделимости соответствующих классов. Соответственно, 3 классифицированные категории – это густые леса, сельскохозяйственные угодья и бесплодные земли.

Результаты и обсуждение

Текущее биофизическое состояние леса Вад аль-Башир и его древостоя. Основополагающим компонентом любой лесной территории являются деревья (Chazdon et al., 2016; Global Forest Resources, 2010; The State of World's Forest …, 2018b). Район нашего исследования, как показано на рисунке 3, особенно богат видами деревьев, которые распространены в лесной зоне. Высокий

уровень обилия и частоты встречаемости видов на пробных площадках оценивается следующим образом: *Vachellia seyal* (Delile) P.J.H.Hurter – доминирующая порода, затем идут *Acacia senegal* (L.) Willd., 1806, *Acacia mellifera* (M. Vahl) Benth. и наименее распространенный *Balanites aegyptiaca* (L.) Delile, 1812 (рис. 3). По данными M.N. Harrison с J.K. Jackson (1958), известно, что перечисленные виды наиболее приспособлены к условиям данной местности.

Однако такое низкое богатство и дефицит видов указывают на необходимость создания будущих стратегий развития и управления лесами, которые в том числе включают мероприятия по проведению облесения (Gafaar, 2011; Harrison, Jackson, 1958). С другой стороны, угрозы и нарушения леса, а также их масштабы продемонстрированы на круговой диаграмме для каждой контрольной площадки нашей выборки (рис. 4). Мы считаем, что географическая привязка каждой угрозы или фактора беспокойства непосредственно к месту, где они были обнаружены, упрощает доступность управления пострадавшими частями леса в любой необходимый момент. Мы предлагаем использовать эти площадки в качестве постоянных для проведения любых мероприятий по управлению, охране и сохранению лесов, а также для дальнейших исследований и мониторинга в ближайшие годы. Таким образом, систематическая оценка и мониторинг состояния лесов могут сильно помочь долгосрочному планированию, количественной и качественной оценке последствий нарушений в лесах, а также устранению неточностей в исследованиях (Siddig, 2019; Hasoba et al., 2020). Однако такой метод мониторинга, несмотря на его важность для управления, сохранения и развития лесов, зачастую игнорируется в лесистых территориях Судана. А во многих случаях отсутствует даже основная информация о площади и типе уже существующих лесов.

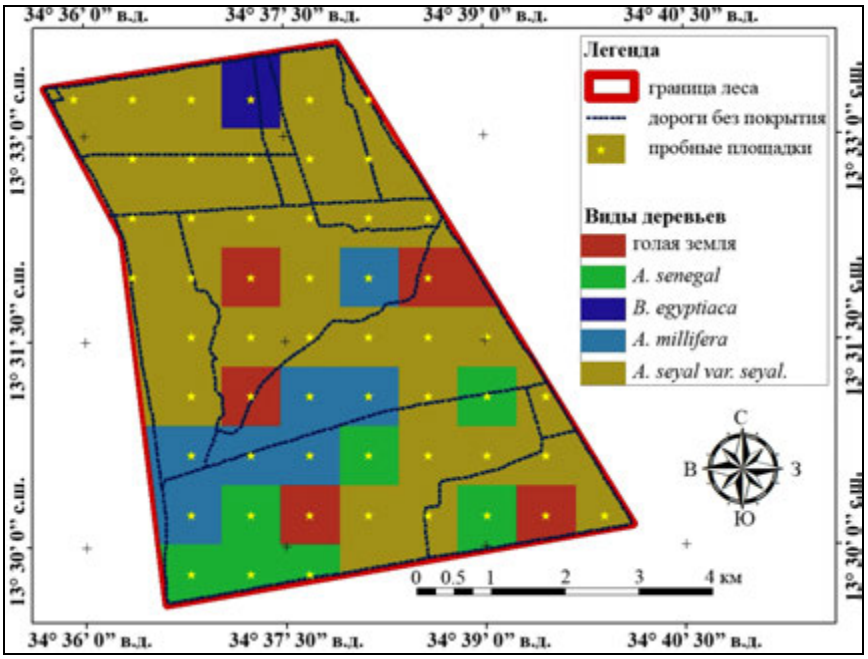


Рис. 3. Распределение доминантных древесных видов в лесу Вад эль-Башир.

Более того, угрозы для лесов и факторы беспокойства считаются естественной и неотъемлемой частью существования лесных экосистем (Curtis et al., 2018; Tegegne et al., 2016). Однако когда они превышают свой привычный диапазон, их воздействие на лесные экосистемы может чрезвычайно сильно сказаться на всем ландшафте в целом, что приведет к масштабной гибели деревьев и полному уничтожению подлеска (Beverly et al., 2011). Таким образом, наземное обследование территории выявило множество нарушений и угроз, которые ухудшали состояние древостоя. С одной стороны, на этот лес оказала огромное влияние человеческая деятельность, серьезный ущерб от которой показан на рисунке 4. Например, незаконная вырубка деревьев (IC), необходимая для удовлетворения бытовых нужд, шла по всей территории леса; за ней последовали сельскохозяйственная деятельность (AA) и неконтролируемый выпас (GA). Невозможность использовать землю под разведение сельхозкультур, устойчивый рост населения наряду с его спросом на дары леса и источники энергии

считаются движущей силой продолжающегося сокращения лесного покрова. С другой стороны, воздействие вредителей, болезней, лиан и инвазивных видов оказалось достаточно умеренным и не сыграло заметной роли в деградации лесов. Равно как и влияние абиотических нарушений, например, ветра, не стало серьезным и повлияло только на старые деревья, что может быть связано с приспособляемостью местных деревьев к столь суровым условиям и окружающей среде (Harrison, Jackson, 1958). В заключение следует отметить, что, несмотря на суровость условий, которым подвержена эта территория, именно местные сообщества людей, зависящие от леса, оказывают на него основное влияние.

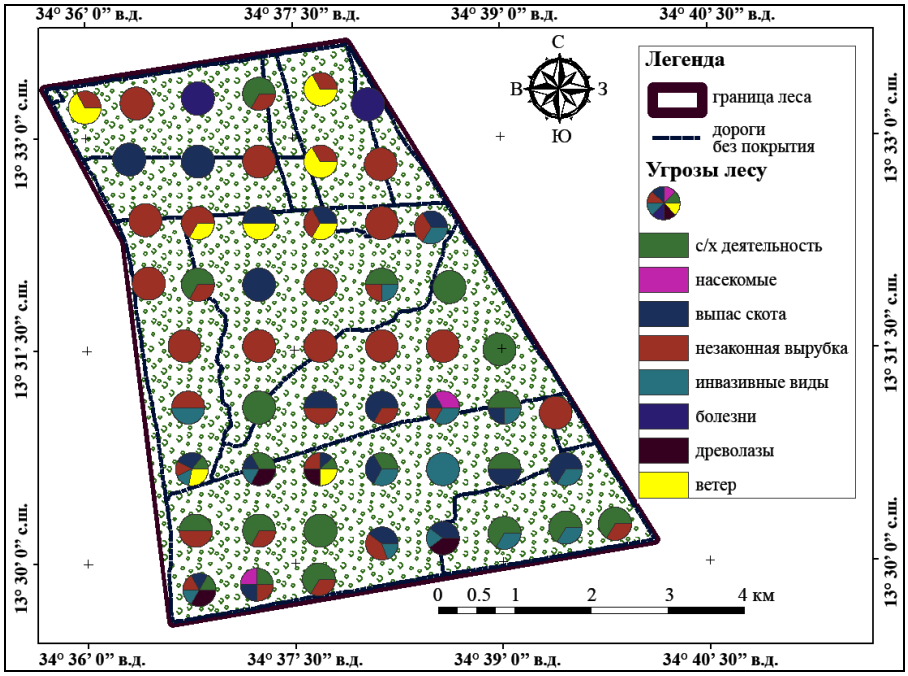


Рис. 4. Распределение нарушений и угроз для деревьев в лесу Вад эль-Башир.

Состояние лесов и социально-экономическая деятельность зависящих от леса людей. Жители данного района в основном были земледельцами, скотоводами и собирателями даров леса. Таким образом, их средства к существованию в значительной степени зависят от лесных ресурсов, а потому управление лесным хозяйством должно отвечать их многочисленным и разнообразным потребностям. А значит, учет деятельности и потребностей людей, живущих в лесах и от них зависящих, является важным шагом на пути к устойчивому управлению лесными ресурсами (Ahmed, 2010; Biswas, Choudhury, 2014; Kobbail, Elfeel, 2012; Udeagha et al., 2016). Результаты социально-экономического исследования подтвердили факт деградации лесов. Например, в последнее время лес Вад эль-Башир пострадал от серьезного обезлесения и деградации, вызванных многочисленной социальной и экономической деятельностью. В связи с этим обширные площади были вырублены и превращены в фермы ради их плодородных почв. Другие факторы, такие как заготовка леса на растопку и строительные материалы, также влияют на деградацию лесов. Дрова и древесный уголь составляют 56.5% от всех источников энергии, которыми пользуются жители в районе исследования, и в основном добываются именно из Вад эль-Башира (рис. 5). К тому же из-за нехватки угодий для ведения сельского хозяйства большинство фермеров переселяется в леса, и, как показал опрос, 60% респондентов признались в использовании лесных ресурсов. Кроме того, в сезон дождей стада домашнего скота остаются без пастбищ, т.к. все возможные пастбищные пути заняты сельскохозяйственными пашнями. А потому, эти животные, особенно козы и верблюды, вынуждены добывать пищу в лесу, что также делает их зависимыми от него.

Более того, местные органы управления лесным хозяйством прибегли к системе Таунгья (Taungya), при которой жители получают право выращивать сельскохозяйственные культуры на ранних этапах создания лесных насаждений, чтобы восстановить деградированные и вырубленные

участки леса, что, безусловно, очень вдохновляет. Однако при этом система положила начало многим проблемам, из-за которых сельхозугодья на долгие годы лишаются деревьев. Ее можно было бы воплотить в жизнь гораздо эффективнее, если бы лесное законодательство и соответствующие штрафы применялись более тщательно. В целом жители, зависящие от лесных территорий, воздействуют на лес как положительно, так и отрицательно.

Рис. 5. Процентное соотношение информации от респондентов и различного использования ими лесных угодий – а), их источников энергии – б), их рабочих мест – в), различных причин деградации лесов – г).

Временное состояние лесного покрова, его изменения и тенденции. Как неоднократно сообщалось, изменения в землепользовании/наземном покрове могут произойти в любой момент из-за множества факторов, таких как вырубка лесов, наводнения, эрозия почвы, незапланированное расширение городов и сельскохозяйственных угодий (Arfat, 2010; Aronoff, 2005; Joshi et al., 2015). Тем не менее, различные экологические, политические, демографические и социально-экономические условия играют основополагающую роль в таких изменениях (Gadallah, 2018; Glover, 2005; Hlanganayi, 2013; Hosonuma et al., 2012). Эти условия часто различаются в зависимости от места и оказывают прямое и постоянное влияние на землепользование/наземный покров (Gadallah et al., 2019). В нашем исследовании показано, что за период работы (1988-2018 гг.) землепользование/наземный покров претерпели значительные изменения из-за человеческого фактора и иных факторов, связанных с окружающей средой (рис. 6). По сравнению с 1988 годом, когда площадь леса составляла 63.8%, и с 2018 годом, когда она равнялась 58%, в 2008 году площадь заметно увеличилась – 72.2%. Средние годовые потери лесного покрова за означенный период составили 0.87%. Соответственно, в 2018 году площади сельскохозяйственных угодий были более обширны (38%), чем в 1988 и 2008 гг. – 25.9% и 6.1% соответственно. Эти данные позволят нам прогнозировать и моделировать тенденции любых последующих изменений.

Чем лучше полученная информация, тем лучше системы мониторинга и планирование управления лесами. Хотя системы для оценки и мониторинга лесов являются ориентиром для устойчивого управления их ресурсами на местном и национальном уровнях, в развивающихся странах трудно осуществить их внедрение из-за отсутствия адекватных технических и операционных возможностей (Sanchez, Hernandez, 2018). Согласно методологии, предложенной в GOFC-GOLD (2012), основные требования к данным системам – это оценка изменений по всей лесистой площади, с использованием последовательных методов на близко расположенных участках территории для получения точных результатов, с последующей проверкой результатов с помощью наземных исследований. Следовательно, единственным практическим подходом к таким системам мониторинга является интерпретация данных дистанционного зондирования, которые поддерживаются и наземными исследованиями. Например, для оценки деятельности на национальном уровне во многих странах используются полевые исследования и методы учета (Achard et al., 2017). Однако Межправительственная группа экспертов по изменению климата (IPCC) и Программа ООН по сокращению выбросов в результате обезлесения и деградации лесов (REDD+) рекомендуют

использовать спутниковые наблюдения (в сочетании с полевыми для уточнения и проверки данных) для последовательного и эффективного мониторинга изменения площади лесов во многих развивающихся странах, а особенно в странах с ограниченной информацией за прошедшие периоды (GOFC-GOLD, 2012; Sanchez, Hernandez, 2018). Более того, S. Higman с соавторами (2005) предложили процедуру мониторинга в лесах, которая соответствует масштабу и интенсивности любого режима лесопользования, и, таким образом, частота и интенсивность мониторинга должны определяться масштабом, интенсивностью и сложностью изучаемого леса.

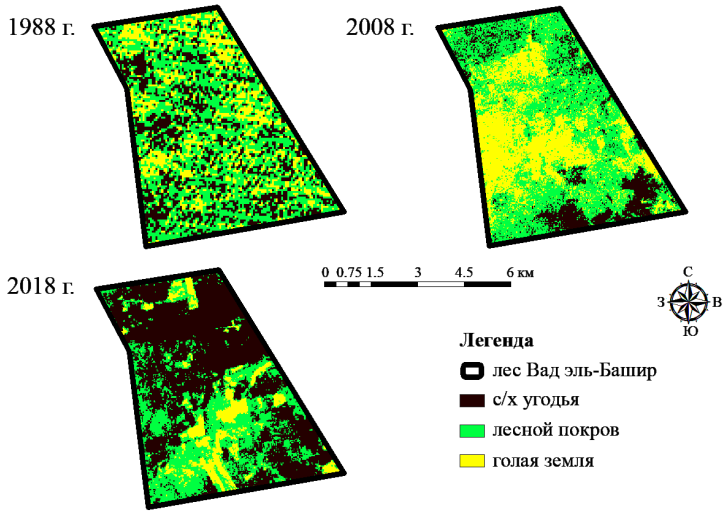


Рис. 6. Классы землепользования и наземного покрова (LULC) для леса Вад эль-Башир в 1988, 2008 и 2018 гг.

Исходя из отчетов ФАО и Суданской национальной лесной корпорации (Sudan National Forest Corporation), оценка лесных ресурсов, как правило, основана вовсе не на оценке лесного покрова или расчете заповедной площади (Global Forest Resources, 2010; The Land Cover Atlas of Sudan, 2012; Sudan National Action Programme, 2006), из-за чего, несомненно, не получается отображать истинное состояние лесов. Это стало одной из причин, которые побудили нас продемонстрировать недорогие и своевременные эффективные методы для оценки и мониторинга состояния лесов в Судане, с использованием данных дистанционного зондирования (находящихся в открытом доступе), наземного обследования лесов и социально-экономических опросов (рис. 7). Таким образом, эффективный подход имеет решающее значение там, где он помогает решать социальные и экономические вопросы, важные для планов и стратегий по управлению лесными ресурсами (Tewari, 2016).

Выводы

Ресурсы лесов в засушливых районах Судана играют важную экологическую и социально-экономическую роль, внося значительный вклад в сохранение биоразнообразия, жизнь людей, сокращение нищеты и обеспечение продовольствием. Однако их устойчивость требует геостатистических знаний, а также понимания биотических и абиотических угроз для лесов, величины лесного покрова и тенденции его изменений, с учетом той человеческой деятельности и потребностей, которые зависят от лесов. Следовательно, важнейшая информация, которая необходима в отношении лесных ресурсов, состоит из характеристики средств к существованию жителей, зависящих от леса, критических угроз, причин деградации лесов, местоположения, площади и состояния изменения лесного покрова в пространстве и времени. Эта информация должна быть практически и экономически обоснована, эффективна, а также своевременно обновляться, будучи точно привязанной к конкретному месту.

Надежная и своевременная информация о лесных ресурсах засушливых районов Судана имеет решающее значение для изучения получаемых от них материальных и нематериальных выгод. Таким образом, наше исследование было направлено на разработку систем для оценки и мониторинга, которые являются своевременными и эффективными с точки зрения затрат и результат которых визуально заметен. В качестве модельной территории был использован лес Вад эль-Башир с целью создания базы данных, которая может быть использована в планировании и стратегиях управления лесными ресурсами. Наземные обследования, социально-экономические исследования и геопространственные методики позволили нам изучить, оценить и нанести на карту актуальное состояние, угрозы, потребности и изменения в данной области. Мы пришли к выводу, что эффективность использования такого комплексного методологического подхода позволит нам описать сразу все аспекты, связанные с лесами. Поэтому мы рекомендуем использовать его для

оценки и мониторинга всех лесных массивов Судана в целом и засушливых земель в частности.

Рис. 7. Схема предлагаемой системы для оценки и мониторинга засушливых лесов Судана.

Благодарности и Финансирование. Насрадин Адам Хамед Гадаллах выражает благодарность Министерству высшего образования и научных исследований Судана за финансовую поддержку его магистерского проекта, выполненного в Хартумском университете при Институте исследований опустынивания и возделывания пустынь. Кроме того, я выражаю благодарность Суданской национальной лесной корпорации штата Гедареф за ее ценную помощь и содействие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Achard F., Maria Y., Oliveira M.De., Mollicone D. 2017. Monitoring Forest Cover and Deforestation // Handbook on Remote Sensing for Agricultural Statistics. GSARS Handbook: Rome. 185-215 p.

Adam Y.O., Eltayeb A.M. 2016. Forestry Decentralization and Poverty Alleviation: A Review // Forest Policy and Economics. Vol. 73. P. 300-307.

Ahmed F.M. 2010. Community Based Sustainable Management of El Ain Natural Forests in the Sudan. Sudan: University of Khartoum. 133 p.

Ahuja M.R. 2018. Biodiversity and Conservation of Woody Plants. 1st ed. Springer International Publishing. 523 p.

Alam S.A. 2013. Carbon Stock, Greenhouse Gas Emissions and Water Balance of Sudanese Savannah Woodlands in Relation to Climate Change // Tropical Forestry Reports. 65 p.

Arfat Y. 2010. Land Use/Land Cover Change Detection and Quantification – A Case Study in Eastern Sudan, Lund University. 61 p.

Aronoff S. 2005. Remote Sensing for GIS Managers. 1st ed. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data. USA, California. 487 p.

Ashraf J., Pandey R., de Jong W. 2018. Assessment of Bio-Physical, Social and Economic Drivers for Forest Transition in Asia-Pacific Region // Forest Policy and Economics. Vol. 76. P. 35-44.

Biswas S.R., Choudhury J.K. 2014. Forests and Forest Management Practices in Bangladesh: The Question of Sustainability // International Forestry Review. Vol. 9. No. 2. P. 627-640.

Chazdon R.L., Brancalion P.S., Laestadius L., Bennett-Curry A., Buckingham K., Kumar C., Moll-Rocek J., Vieira I.C.G., Wilson S.J. 2016. When is a Forest a Forest? Forest Concepts and Definitions in the Era of Forest and Landscape Restoration // Ambio. Vol. 45. No. 5. P. 538-550.

Curtis P.G., Slay C.M., Harris N.L., Tyukavina A., Hansen M.C. 2018. Classifying Drivers of Global Forest Loss // Science. Vol. 361. P. 1108-1111.

De Jong W., Pokorny B., Katila P., Galloway G., Pacheco P. 2018. Community Forestry and the Sustainable

Development Goals: A Two Way Street // Forests. Vol. 9. No. 6. P. 331.

Dons K., Bhattarai S., Meilby H., Smith-Hall C., Panduro T.E. 2016. Indirect Approach for Estimation of Forest Degradation in Non-intact Dry Forest: Modeling Biomass Loss with Tweedy Distributions // Carbon Balance and Management. Vol. 11. No. 1. P. 14.

Forest Resources Assessment: Terms and Definitions. 2015. No. 180. Rome: FAO/FRA. 31 p.

The State of World's Forest: To Sustainable Development Forest Pathways Food. 2018a. Rome: FAO. 139 p.

The State of World's Forest: Food and Agriculture Organization of United Nations. 2018b. Rome: FAO. 80 p.

Trees, Forests and Land Use in Drylands. 2016. The First Global Assessment. Rome: FAO. 204 p.

The Land Cover Atlas of Sudan. 2012. Rome: FAO. 55 p.

Global Forest Resources. 2015. Country Report. Sudan. Rome: FAO. 2014. 107 p.

Guidelines on sustainable forest management in drylands of sub-Saharan Africa: 2010. // Arid Zone Forests and Forestry. Working Paper. No. 1. FAO. Rome, Italy. 47 p.

Case Studies on Measuring and Assessing Forest Degradation. 2009. Measuring and Monitoring Forest Degradation Through National Forest Monitoring Assessment (NFMA) / Reds. R. Tavani, M. Saket, M. Piazza, A. Branthomme, D. Altrell. Working paper No. 172. Rome, Italy. 19 p.

Gadallah N.A.H. 2018. Assessment of Sudan Forest Management Policies and Practices in Relation to Deforestation and Forest Degradation Drivers in Tozi and Wad Al-Bashir Forests. Nigeria: Pan African University, Life and Earth Sciences Institute. [Электронный ресурс https://yandex.ru/search/?lr=213&clid=2224313&text=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fpublication%2F349627808_ASSESSMENT_OF_SUDAN_FOREST_MANAGEMENT_POLICIES_AND_PRACTICES_IN_RELATION_TO_DEFORESTATION_AND_FOREST_DEGRADATION_DRIVERS_IN_TOZI_AND_WAD_AL-BASHIR_FORESTS (дата обращения 01.10.2021)].

Gadallah N.A.H., Adewole N.A., Ajayi D.D. 2019. Potential of Agroforestry as Forest Landscape Restoration Tool to Solve Forest Cover Loss Cum Food Security in Sennar and Gedaref States, Sudan // International Journal of Sustainable Development. Vol. 8. No. 2. P. 199-210.

Gafaar A. 2011. Forest Plantations and Woodlots in Sudan. Nairobi, Kenya. 74 p.

Glover E.K. 2005. Tropical Dryland Rehabilitation: Case Study on Participatory Forest Management in Gedaref, Sudan. Helsinki: University of Helsinki. 183 p.

GOFC-GOLD. 2012. A Sourcebook of Methods and Procedures for Monitoring and Reporting Anthropogenic Greenhouse Gas Emissions and Removals Associated with Deforestation, Gains and Losses of Carbon Stocks in Forests Remaining Forests, and Forestation. Netherlands: GOFC-GOLD Land Cover Project Office, Wageningen University. 219 p.

Grecchi C.R., Beuchle R., Edemir Y., Aragão L.E.O.C., Araib E., Simonettia D., Achard F. 2018. An Integrated Remote Sensing and GIS Approach for Monitoring Areas Affected by Selective Logging: A Case Study in Northern Mato Grosso, Brazilian Amazon // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. Vol. 61. P. 70-80.

Hasoba A.M., Siddig A.A., Yagoub Y.E. 2020. Exploring Tree Diversity and Stand Structure of Savanna Woodlands in Southeastern Sudan // Journal of Arid Land. Vol. 12. No. 4. P. 609-617.

Harrison M.N., Jackson J.K. 1958. Ecological Classification of Vegetation. The Sudan Agricultural Publications Committee, Khartoum, Sudan. 45 p.

Hemida M.A.A. 2016. Contribution of Farm Trees to Farmers' Rural Livelihoods in Gedaref State, Sudan. Northern Africa: University of Khartoum. 53 p.

Higman S., Mayers J., Bass S., Judd N., Nussbaum R. 2005. The Sustainable Forestry Handbook: A Practical Guide for Tropical Forest Managers on Implementing New Standards. 2nd ed. London: Earthscan. 352 p.

Hlanganayi A. 2013. Deforestation in Chipuriro Lands (Guruve), Socio-Economic Factors and Patterns. South Africa: University of South Africa. 120 p.

Hosonuma N., Herold M., De Sy V., De Fries R.S., Brockhaus M., Verchot L., Angelsen A., Romijn E. 2012. An Assessment of Deforestation and Forest Degradation Drivers in Developing Countries // Environmental Research Letters. Vol. 7. P. 1-12.

Joshi N., Mitchard E.T.A., Woo N., Torres J., Moll-Rocek J., Ehammer A., Collins M., Jepsen M.R., Fensholt R. 2015. Mapping Dynamics of Deforestation and Forest Degradation in Tropical Forests Using Radar Satellite Data // Environmental Research Letters. Vol. 10. P. 34014.

Keenan R.J., Reams G.A., Achard F., de Freitas J. V., Grainger A., Lindquist E. 2015. Dynamics of Global Forest Area: Results from the FAO Global Forest Resources Assessment // Forest Ecology and Management. Vol. 352. P. 9-20.

Khatri D.B., Marquardt K., Pain A., Ojha H. 2018. Shifting Regimes of Management and Uses of Forests: What Might REDD+ Implementation Mean for Community Forestry? Evidence from Nepal // Forest Policy and Economics. Vol. 92. P. 1-10.

Kobbail A.A.R., Elfeel A.A. 2012. Local Communities Involvement in Forest Policy Implementation: Case from Sudan // Asian Journal of Agriculture. Vol. 4. P. 140-144.

Köhl M., Magnussen S.M., Marchetti M. 2006. Sampling Methods, Remote Sensing and GIS Multi Resource Forest

Inventory. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 373 p.
Köthke M., Leischner B., Elsasser P. 2013. Uniform Global Deforestation Patterns – An Empirical Analysis // Forest Policy and Economics. Vol. 28. P. 23-37.
Looyen W.J., Zeppenfeldt F.O., Venema J.C., van der Burg G. 1994. FAME: A Forest Assessment and Monitoring Environment Scenario // Geoscience and Remote Sensing Symposium. Vol. 3. P. 1146-1148.
MacDicken K.G. 2015. What, Why and How? // Global Forest Resources Assessment 2015. Forest Ecology and Management. Vol. 352. P. 3-8.
MacDicken K.G., Sola P., Hall J.E., Sabogal C., Tadoum M., de Wasseige C. 2015. Global Progress toward Sustainable Forest Management // Forest Ecology and Management. Vol. 352. P. 47-56.
Mandallaz D. 2008. Sampling Techniques for Forest Inventories. Taylor & Francis Inc. 272 p.
Marklund L.G., Schoene D. 2006. Global Forest Resources Assessment 2005. Global Assessment of Growing Stock: Biomass and Carbon Stock. 55 p.
Milton A.D. 2015. Forest Resilience for Livelihoods and Ecosystem Services. USA: George Mason University. 226 p.
Mitchard E.T.A., Saatchi S.S., Lewis S.L., Feldpausch T.R., Woodhouse I.H., Sonké B., Rowland C., Meir P. 2011. Measuring Biomass Changes due to Woody Encroachment and Deforestation/Degradation in a Forest-savanna Boundary Region of Central Africa Using Multi-temporal L-band Radar Backscatter // Remote Sensing of Environment. Vol. 115. No. 11. P. 2861-2873.
Mohamed A.G. 2005. Improvement of Traditional Acacia Senegal Agroforestry: Ecophysiological Characteristics as Indicators for Tree-crop Interaction on Sandy Soil in Western Sudan. Finland, Helsinki: University of Helsinki. 100 p.
Sudan National Action Programme (SNAP). 2006. Republic of Sudan Ministry of Agriculture and Forestry National Drought and Desertification Control Unit (NDDCU), Sudan, Khartoum. NDDC/UNDP. 54 p.
Nimir H.B., Abdelsalam A.A. 2005. Oil Sector Development and Forestry in Sudan: Issue Paper. Assistance to the Revision of National Forestry Policy, Legislation & Institutional Reorganization. FAO. 1-36 p.
Parrotta J., Yeo-Chang Y., Camacho L.D. 2016. Traditional Knowledge for Sustainable Forest Management and Provision of Ecosystem Services // International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management. P. 1-4.
Pawar K.V., Rothkar R.V. 2015. Forest Conservation & Environmental Awareness // Procedia Earth and Planetary Science. Vol. 11. P. 212-215.
Pretzsch J. 2005. Forest Related Rural Livelihood Strategies in National and Global Development // Forests Trees and Livelihoods. Vol. 15. P. 115-127.
Roy P.S., Dutt C.B.S., Joshi P.K., Nrsa S. 2002. Tropical Forest Resource Assessment and Monitoring // Tropical Ecology. Vol. 43. P. 21-37.
Salih A.A.M., Ganawa E.T., Elmahl A.A. 2018. Spectral Mixture Analysis (SMA) and Change Vector Analysis (CVA) Methods for Monitoring and Mapping Land Degradation/Desertification in Arid and Semiarid Areas (Sudan), Using Landsat Imagery // Egyptian Journal of Remote Sensing & Space Sciences. Vol. 20. P. 21-29.
Sanchez M.E.R., Hernandez M.E. 2018. Assessing and Monitoring Forest Degradation in a Deciduous Tropical Forest in Mexico via Remote Sensing Indicators // Forests. Vol. 8. P. 2-19.
Schneibel A., Frantz D., Röder A., Stellmes M., Fischer K., Hill J. 2017. Using Annual Landsat Time Series for the Detection of Dry Forest Degradation Processes in South-central Angola // Remote Sensing. Vol. 9. No. 9. P. 905.
Siddig A.A. 2019. Why is Biodiversity Data-deficiency an Ongoing Conservation Dilemma in Africa? // Journal for Nature Conservation. Vol. 50. P. 125719.
Sloan S., Sayer J.A. 2015. Forest Resources Assessment of 2015 Shows Positive Global Trends but Forest Loss and Degradation Persist in Poor Tropical Countries // Forest Ecology and Management. Vol. 352. P. 134-145.
Sunderland T., Abdoulaye R., Ahammad R., Asaha S., Baudron F., Deakin E., Duriaux J.Y., Eddy I., Foli S., Gumbo D., Khatun K., Kondwani M., Kshatriya M., Leonald L., Rowland D., Stacey N., Tomscha S., Yang K., Gergel S., Van Vianen J. 2018. A Methodological Approach for Assessing Cross-site Landscape Change: Understanding Socio-ecological Systems // Forest Policy and Economics. Vol. 84. P. 83-91.
Tegegne Y.T., Lindner M., Fobissie K., Kanninen M. 2016. Evolution of Drivers of Deforestation and Forest Degradation in the Congo Basin Forests: Exploring Possible Policy Options to Address Forest Loss // Land Use Policy. Vol. 51. P. 312-324.
Tewari V.P. 2016. Forest Inventory, Assessment, and Monitoring, and Long-term Forest Observational Studies, with Special Reference to India // Forest Science and Technology. Vol. 12. P. 24-32.
Udeagha A.U., Polytechnic F., State K.J., Shomkegh S. 2016. Forest Policy and Administration in Nigeria: Lessons from Tanzania // International Journal of Agriculture and Rural Development. Vol. 19. No. 1. P. 2400-2406.
Report of the United Nations Conference on Environment and Development. 1992. Annex III: Non-legally Binding Authoritative Statement on Principles for a Global Consensus on the Management, Conservation and Sustainable Development of all Types of Forests. Rio de Janeiro: UNCED. 72 p.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2022, том 28, № 2 (91), с. 40-50

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 911.2:502:571.51

ИЗМЕНЕНИЕ ЗАПАСОВ МОБИЛЬНОГО ВЕЩЕСТВА И ТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННО ИЗМЕНЕННЫХ ПОЧВ НАЗАРОВСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

© 2022 г. И.Б. Воробьева

Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского Отделения РАН
Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, д. 1. E_mail: Irina-vorobyeva@yandex.ru

Поступила в редакцию 13.05.2021. После доработки 29.10.2021. Принята к публикации 13.01.2022.

В статье представлены результаты исследований по изменению содержания и запасов водорастворимых форм кальция, магния, органического и минерального углерода и влаги природных и антропогенно измененных почв, а также изменения температуры естественных почв в разных местоположениях. Актуальность исследования обусловлена необходимостью анализа изменений изучаемых параметров в условиях краткосрочных изменений климата в островной лесостепи Назаровской котловины. В исследованиях были использованы общепринятые методы: ландшафтно-геохимический, сравнительно-аналитический, сравнительно-географический и статистический. Установлено, что запасы влаги в лугово-болотной почве максимальны, в почве лугово-черноземной выщелоченной – минимальны, а в черноземе обыкновенном луговатом и его антропогенной модификации – залежи – значения близки, что связно с их положением в рельефе и гидротермическим режимом. Выявлено экспериментальным путем («in situ»), что в черноземе обыкновенном луговатом температурная кривая более крутая, температуры промерзания более низкие, а период с отрицательными температурами более длительный, чем в лугово-болотной почве. Получены новые знания по изменению запасов водорастворимых форм кальция, магния, органического и минерального углерода, содержанию влаги и колебанию климатических параметров (температуры воздуха и сумм осадков). Установлены внутригодовые изменения температуры естественных почв («in situ») островной лесостепи для более полного понимания динамики природных процессов, а также использования полученных результатов в дальнейших исследованиях по изучению островной лесостепи в изменяющемся климате.

Ключевые слова: природные, антропогенно измененные почвы, температура, влажность, запасы водорастворимых веществ, органический и минеральный углерод.

DOI: 10.24412/1993-3916-2022-2-40-50

Территория Средней Сибири в природном плане очень разнообразна. Она включает часть Средне-Сибирского плоскогорья, восточную кромку Западно-Сибирской равнины и северную часть Алтае-Саянской горной области. Лесостепь в Средней Сибири не имеет зонального характера и законы широтной зональности здесь нарушаются. Лесостепные участки представляют собой изолированные «острова» среди тайги. Они занимают обособленные районы, окруженные лесной растительностью. В пределах лесостепных «островов» растительность и почвы, характерные для степей, находятся на террасированных пространствах в долинах современных действующих и древних сухих водотоков. Возвышенные водосборные пространства заняты лесной растительностью.

Фундаментальные исследования о влиянии меняющихся гидроклиматических параметров на развитие и функционирование природных комплексов требуют получения новых знаний в условиях Средней Сибири, а именно, на территории Назаровской лесостепи.

Внутриконтинентальное расположение Назаровской лесостепи, в сочетании с особенностями котловинного рельефа, создают особые микроклиматические условия и многообразие состояний для развития почв и растительных сообществ. Почва является носителем различной информации (о прошлом и настоящем) и, вследствие этого, особое внимание уделяется изучению ее свойств. При исследовании почв кроме общепринятых методик применяется метод анализа водной вытяжки, которая дает представление о содержании в почве водорастворимых веществ и динамике почвенных

процессов. Общепризнано использование водной вытяжки для характеристики общих запасов легкорастворимых соединений и мобильных веществ почв, способных при определенных условиях переходить в почвенные растворы.

Установлено, что изменение общеклиматических параметров существенно влияет на состояние почвы (Природа и хозяйство …, 1983; Горбачев, 2014).

Цель исследования – проследить изменения содержания водорастворимых форм элементов (кальция, магния, общей щелочности) и углерода в сопряженном ряду: чернозем обыкновенный луговатый («луг» – III) – его антропогенная модификация («залежь» – IV) – лугово-черноземная выщелоченная («склон» – V) – лугово-болотная карбонатная почва («болото») и чернозем обыкновенный луговатый («луг») с термическим режимом естественных почв – лугово-болотная карбонатная почва («болото» – VI) в условиях изменения гидроклиматических параметров.

Для достижения цели были поставлены задачи: дать анализ динамики климатических параметров территории исследования (для общей характеристики климатических условий района исследований используются показатели метеостанции «Шарыпово»); выявить количественные изменения водорастворимых форм элементов (кальций, магний, углерод минеральный и органический) и содержание влаги во временном; показать изменения запасов водорастворимых веществ и колебания климатических параметров (временные рамки – 1981-1984 гг. и 2010-2014 гг.); обнаружить внутригодовые изменения температуры естественных почв в разных местоположениях.

Предыдущие исследования автора дали многообразный оригинальный материал о состоянии и динамике почв Назаровской лесостепи (Воробьева, 2020; Vorobyeva, 2013). В данной статье рассматриваются изменения запасов водорастворимых форм элементов и углерода в почвах разных местоположений связанные с колебаниями климатических параметров.

Материалы и методы

Район исследования расположен в центральной части Евразии и удален от морей и океанов на несколько тысяч километров. Для центральной части региона, преимущественно равнинной, с островными лесостепями и плодородными почвами, характерны относительно короткое жаркое лето, продолжительная холодная зима, быстрая смена температур. Средняя температура в январе составляет -18°С, а в июле +20 °С. В среднем в год выпадает 316 мм осадков, в основном летом. Снежный покров устанавливается в начале ноября и сходит к концу марта (Общая информация о Красноярском крае, 2013). Континентальный климат и сложный рельеф в совокупности создают множество локальных особенностей и экологических условий почвообразования. Водный и тепловой режимы отличаются значительной контрастностью, и как следствие, растительный и почвенный покров характеризуется большим разнообразием и пестротой. По физико-географическому районированию (Снытко и др., 1987) территория исследования относится к Назаровскому предгорно-котловинному округу Верхнечулымской провинции.

Территория Назаровской котловины интенсивно используется в народном хозяйстве. В советские времена степень использования земель достигала 66-69%, в постсоветские годы многие сельскохозяйственные земли были заброшены. Часть сельскохозяйственных земель оказалась невостребованной, и они стали зарастать, переходя в залежи (Доклад о состоянии …, 2019). Дальнейшее их развитие происходит по восстановительному типу, и они стремятся к своему природному аналогу.

Изучение закономерностей изменения физико-химических свойств почв проводились нашими предшественниками с начала 1980-х годов на ключевых участках с использованием метода сопряженного анализа вещества (Снытко и др., 1987). Первоначальное описание объектов исследования выполнено А.В. Мартыновым (1983), начавшим режимные наблюдения за миграцией вещества на данной территории. Наши исследования осуществлялись на Березовском физико-географическом стационаре Института географии имени В.Б. Сочавы СО РАН в лесостепных геосистемах Назаровской котловины с 1986 по 2014 гг.

Предметом детальных исследований послужили почвы (рис. 1) фаций: элювиальная локально-аккумулятивная осоково-злаково-разнотравная с черноземом обыкновенным луговатым маломощным тучным среднесуглинистым на карбонатных покровных суглинках (по классификации 1977 года; т. «луг» – III); ее антропогенная модификация – злаково-разнотравная залежь с большим

количеством хвоща и подорожника (т. «залежь» – IV); трансэлювиально-аккумулятивная полугидроморфная разнотравно-луговая закустаренная с лугово-черноземной выщелоченной мощной намытой среднесуглинистой почвой на карбонатных покровных суглинках (т. «склон» – V) и трансаккумулятивная гидроаккумулятивная высокоразнотравно-осоковая закачкаренная закустаренная с лугово-болотной иловатой карбонатной слоистой почвой (т. «болото» – VI; Снытко и др., 1987).

Используемые методы: ландшафтно-геохимический метод позволяет проводить комплексное изучение компонентов ландшафтов в сопряженном ряду, с ним пересекаются сравнительно-аналитический и сравнительно-географический, первый используется для изучения почвы с поверхности и на всю глубину со сравнением вещественного состава, что позволяет выявить изменения, возникшие в результате почвообразования, превращение веществ, их передвижение; второй – сравнение различных компонентов ландшафтов и показать их особенности, наиболее характерные, а потому наиболее существенные черты; статистический метод дает возможность получить некоторые показатели расчетным путем, коэффициенты корреляции. Пробы почв отбирались с помощью бура в трехкратной повторности с глубин 0-5, 5-10 и далее через каждые 10 см до 50 см, затем высушивались до воздушно сухого состояния и исследовались по общеустановленным методикам (Аринушкина, 1970). Температура почвы измерялась с использованием термометра-щупа АМ-6 через 5 см до глубины 20 см. Содержание органического углерода определялось методом Тюрина после высушивания при 80 °С аликвоты вытяжки. Углерод бикарбонатной щелочности и от растворимых карбонатов переводился в $C_{мин.}$ умножением на условные коэффициенты 0.197 и 0.2 соответственно.

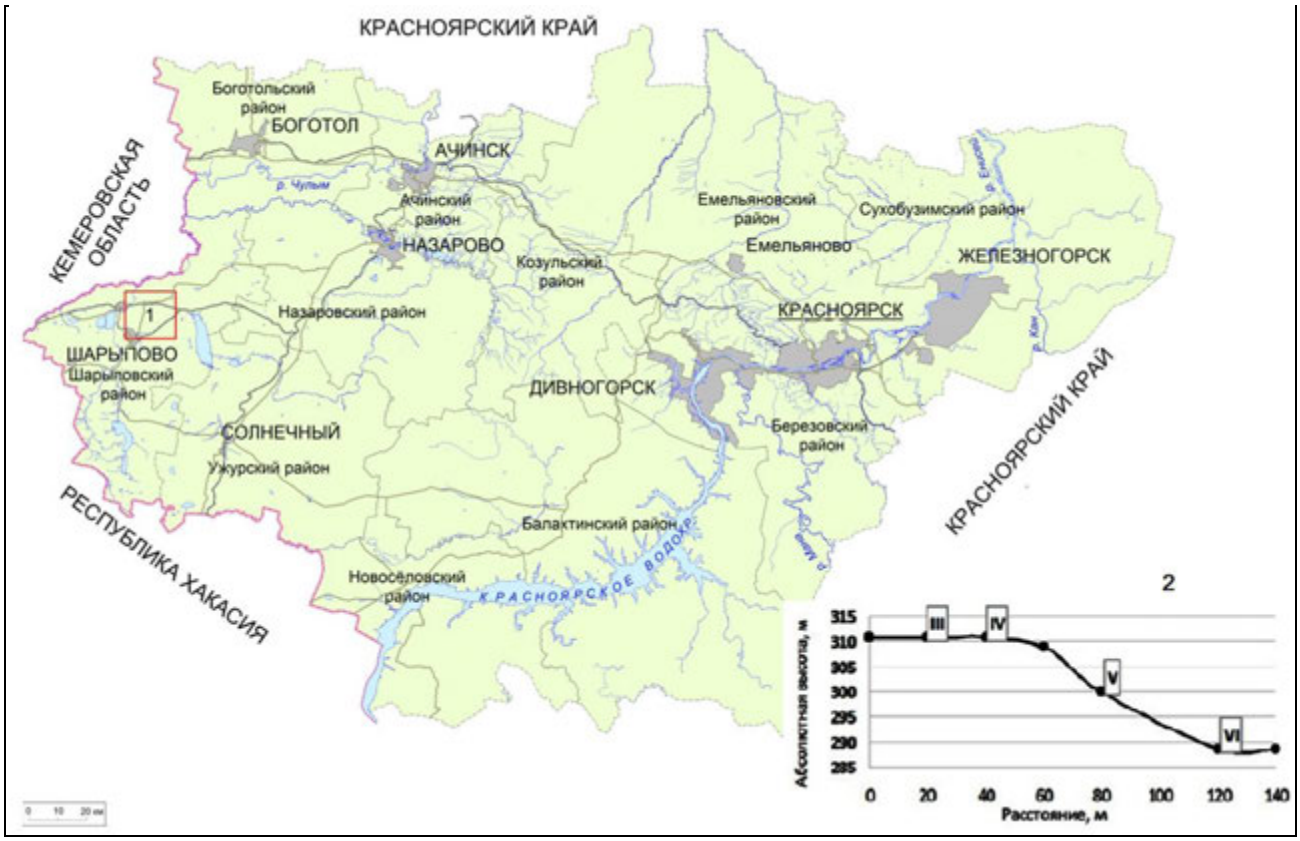


Рис. 1. Местоположение объектов исследований. Условные обозначения: 1 – Шарыповский район, ключевой участок «Отножка», 2 – схема ландшафтно-геохимического профиля.

Наблюдения проводились в конце июля – начале августа перед пиком поступления в почву опада, когда органические вещества почв стабилизировались в среднем, характерном для данной

почвы значении. Пробы почв отбирались ежегодно в середине вегетационного периода (в июле), на одних и тех же участках. За период наблюдений было отобрано и проанализировано более 200 образцов почв. Запасы элементов рассчитывались с учетом плотности каждого слоя на единицу площади. Проводились наблюдения за параметрами экологического состояния почвы (температурой и влажностью) в различные по гидроклиматическим условиям годы. Влажность почвы определялась весовым методом. Для записи температуры почвы на глубине 20 см в течение года применялись измерители температуры «ТЕРМОХРОН». Регистрация температуры проводилась каждые 3 часа с погрешностью ± 0.5°С в течение года (2009 VII-2010 VII). Как правило, в научных исследованиях, используются температурные данные ближайшей метеостанции. Датчики температуры были установлены «in situ» на выровненном участке луговой степи в черноземе обыкновенном луговатом (т. луг – III) и лугово-болотной иловатой карбонатной слоистой почве (т. болото – VI), в июле 2009, показания сняты в июле 2010 г. (55° 37.163' с.ш., 89° 11.714' в.д.). Отбор почвенных образцов, химический анализ и все расчеты проведены автором.

Для описания климатических условий района исследований были использованы данные температуры воздуха и суммы осадков метеостанции «Шарыпово» (55° 31.30' с.ш., 89° 12.00' в.д.), расположенной в 9 км к юго-западу от ключевых точек.

Результаты и обсуждение

При анализе динамики климатических параметров за период 1987-2018 гг. выявлено, что сумма осадков за год в большинстве случаев, близка к норме (444 мм), но могут быть колебания как в сторону увеличения (до 668 мм в 1996 г.), так и уменьшения (до 276 мм в 1989 г.; рис.2).

Обнаружено, что годовая сумма осадков показывает небольшое незначимое увеличение. Среднегодовая температура воздуха была отрицательной в 1996, 2009 и 2010 гг., а наибольшие значения были выявлены в 1995, 2002, 2007, 2015 и 2017 гг. (свыше 3.0°С при норме 0.9°С). Современной климатической нормой метеоэлементов считаются средние величины, рассчитанные за промежуток времени 1961-1990 гг., который был утверждён Всемирной Метеорологической Организацией (Что такое климатическая норма?, 2016).

За время наблюдений обнаружено несколько циклов изменений величины среднегодовой температуры воздуха и количества осадков, но все они возвращаются через некоторое время к «исходной» позиции – на начало цикла.

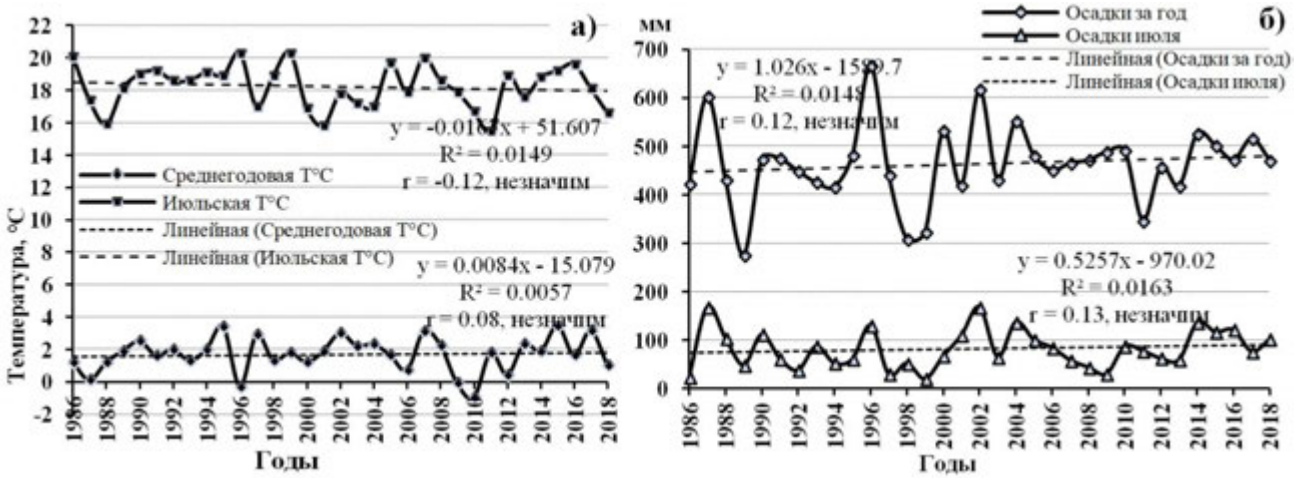


Рис. 2. Многолетняя динамика среднегодовой и среднеиюльской температуры воздуха (а) и среднегодовых и среднеиюльских суммарных осадков (б) по данным метеостанции Шарыпово.

Вегетационные сезоны в 1986-2018 гг. различались между собой, так в середине летнего периода (июль) холодно (на 1.5-2.0°С ниже нормы, норма для июля – 17.8 °С) было в: 1988, 1997, 2001, 2002, 2003, 2004, 2010, 2011 и 2018 гг. и июльских осадков выше нормы было в: 1987, 1988, 1990, 1993, 1996, 2001, 2002, 2004-2006, 2010, 2014-2016 и 2018 гг. – 1.5-2.5 нормы (норма для июля – 75 мм). Обнаружено, что 1988, 2001, 2002, 2004, 2010 и 2018 гг. были экстремальными – с большим

количеством влаги и низкими температурами, что отразилось на низком содержании водорастворимых форм углерода. При повышении влажности почв восстановительные условия содействуют формированию подвижных форм органического вещества и его миграции за пределы почвенного профиля. В теплые годы, с повышенной температурой и малым количеством осадков (1986, 1999, 1998, 1999, 2005, 2007 гг.), вследствие дефицита влаги происходит концентрирование в почве водорастворимых соединений.

Выявлено, что за время наблюдений были годы как с большим количеством осадков и низким температурным фоном, так и с жаркими и сухими условиями, что проявилось в общих чертах: повышение среднемноголетних температур воздуха более чем 1°С – особенно в зимний и осенний периоды, и понижение – в летнее время (июль). Установлено увеличение сумм осадков, особенно в весенне-летние периоды (Географические исследования Сибири, 2007). И, как результат, проявилась единая тенденция увеличения среднегодовой температуры и сумм осадков. По данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата (2019), глобальное потепление уже достигло доиндустриального уровня и это служит причиной негативных последствий для экосистем и людей.

Министерство природных ресурсов и экологии России отмечает, что темпы глобального потепления в России выше, чем в среднем на планете. Так, за период с 1976 по 2017 гг. повышение среднегодовой температуры воздуха за десятилетие составило 0.4°С, тогда как в мире этот показатель составляет 0.18°С. Отмечен значительный рост выбросов парниковых газов, и что причиной потепления, с вероятностью, превышающей 95%, является антропогенное воздействие (Доклад об особенностях …, 2020).

На основании проведенных расчетов по данным, полученным на метеостанции «Шарыпово» установлено небольшое незначимое увеличение суммы осадков и среднегодовой температуры воздуха, что согласуется с прогнозами дальнейшего роста сумм осадков главным образом в холодный период.

А.А. Шпедт с соавторами (2019) выявил, что изменение климатических параметров в Красноярском крае происходит с большей скоростью, чем в среднем на территории России. Наиболее вероятный прогноз изменения климата до 2050 г. предполагает повсеместное потепление на 0.6-0.7°С и увеличение количества осадков на 30-50 мм/год. Предполагается, что в зимний период будет выпадать осадков на 4-6% больше, чем в настоящее время, особенно в Восточной Сибири (7-9%; Кочугова, 2018).

Физико-химическая характеристика территории исследования дана А.В. Мартыновым (Снытко и др., 1987) и представляет выровненный участок осоково-злаково-разнотравной луговой степи (участок «Отножка» точки III и IV). Физико-химические свойства изучаемых почв представлены в таблице 1.

Установлено, что с глубиной нейтральная реакция почвенной среды меняется на щелочную, почвенный поглощающий комплекс насыщен основаниями с преобладанием в его составе кальция, емкость поглощения снижается вниз по профилю с уменьшением органического вещества. Лугово-черноземная выщелоченная почва расположена на склоне восточной экспозиции (борт лога) – разнотравный закустаренный луг (участок «Отножка» точка V). Выявлена высокая емкость поглощения, сравнительно небольшая относительная плотность твердой фазы, большое количество органического вещества и значительно меньшее количество азота. В почвенном поглощающем комплексе присутствует большое количество магния, что свидетельствует об активном проявлении процессов глееобразования. Определено постоянное переувлажнение с глубины 70 см, в верхнем слое оно носит периодический характер. Лугово-болотная почва обладает высокой водоудерживающей способностью, органоминеральный горизонт ($A1_g$) содержит большое количество гумуса и обладает очень высокой емкостью поглощения.

В почвах участка «Отножка» направление геохимической миграции элементов определяется в основном рельефом местности – от положительных форм к днищу лога.

Сравнительный анализ запасов мобильного вещества в почвах сопряженного ряда фаций: «луг – залежь – склон – болото» (III – IV – V – VI) выявил тенденции изменения их количественных показателей. Для характеристики запасов продуктивной влаги в почве представляет интерес ее изучение, как в сопряженном ряду, так и во времени (табл. 2).

Запасы продуктивной влаги, выявленные А.В. Мартыновым (1987), превышают запасы, обнаруженные в 2010-2014 гг. В этот период гидротермические условия были очень неоднородные как с большим количеством осадков и низким температурным фоном, так и с жаркими и сухими условиями (рис. 2).

Таблица 1. Физико-химические свойства почв.

Почва	Горизонт	Глубина, см	Плотность почвы, г/см^3	pH	Содержание, %		C/N	Обменные основания, мг-экв./100 г			$CaCO_3$, %
					C	N		Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Ca^{2+}+Mg^{2+}$	
Чернозем обыкновенный луговатый (III)*	A	0-26	0.95	7.0	7.44	1.21	6.3	41.6	8.0	49.6	–
	AB	26-33	0.97	7.1	1.85	0.28	6.6	31.2	5.6	36.8	–
	$B_к$	33-54	1.19	8.2	0.97	0.28	3.5	24.8	5.6	30.4	14.50
	$BC_к$	54-100	1.58	8.2	0.40	–	–	19.6	3.2	22.8	16.34
Антропогенная модификация III (IV)*	$A_{пах}$	0-16	1.09	7.0	6.33	0.99	6.4	33.2	13.2	36.4	–
	A	16-33	1.06	7.1	2.98	0.59	5.0	26.4	12.4	38.8	–
	AB	33-46	1.20	6.9	1.54	0.14	10.9	31.2	2.1	33.3	–
	$B_к$	46-70	1.50	8.2	–	–	–	19.6	2.8	22.4	11.53
	$BC_к$	70-100	1.58	8.2	–	–	–	20.0	3.1	23.1	12.60
Лугово-черноземная выщелоченная (V)*	$A_д$	0-15	0.64	6.3	12.26	0.30	40.9	38.0	13.6	51.6	–
	$A1^1$	15-38	0.67	6.1	10.25	0.30	34.2	41.6	21.2	62.8	–
	$A1^{11}$	38-71	0.77	5.7	6.22	0.51	12.2	30.8	4.0	34.8	–
	AB_g	71-98	–	6.7	2.35	0.33	7.1	27.2	14.0	41.2	–
Лугово-болотная иловатая карбонатная (VI)*	$A_{д(т)}$	0-18	0.71	7.8	13.61	0.31	43.9	58.8	3.6	62.4	–
	$A1_g$	18-35	0.69	7.6	5.81	0.30	19.4	58.0	18.8	76.6	–
	AB_g	35-76	1.02	7.4	0.84	0.75	1.12	29.2	20.8	50.0	–
	B_g	76-100	–	7.3	2.30	0.65	3.4	28.8	8.8	37.6	–

Примечание к таблице 1: * – данные А.В. Мартынова (Снытко и др., 1987).

В формировании запасов почвенной влаги важная роль принадлежит местоположению. Лугово-черноземная выщелоченная почва (V) занимает подчиненное положение по отношению к чернозему обыкновенному луговатому (III), где привнос влаги сочетается с его выносом. При этом в слое 0-20 и 0-50 см, в сравнении с ранее проведенными исследованиями А.В. Мартынова, установлено уменьшение запасов влаги во всех типах почв, кроме лугово-болотной иловатой карбонатной (VI). Установлено, что диапазон колебаний запасов влаги в слое 0-20 см не изменился. Наиболее заметные изменения выявлены в слое 0-50 см в черноземе обыкновенном луговатом (III) и лугово-болотной иловатой карбонатной почве (VI) с увеличением амплитуды колебаний в 1.5 раза.

Отмечено, что в черноземе обыкновенном луговатом (III) запасы мобильного органического вещества, кальция и магния больше, чем в её антропогенной модификации – залежи (IV). Минимальные запасы водорастворимых щелочноземельных элементов выявлены в лугово-черноземной выщелоченной почве (V) подножия склона, что является результатом выноса этих элементов с водными потоками в нижележащую болотную фацию, где и происходит их накопление. Запасы органического вещества в основном сконцентрированы в корнеобитаемом слое 0-20 см, что обусловлено наличием здесь его источника и оптимальными гидротермическими условиями (разность температур почвы на глубине 5 и 20 см не превышает 5°C).

Исследования середины 80-х годов XX в. установили эту закономерность, а наши – подтвердили,

только на более высоком количественном уровне и с увеличением диапазона их колебаний. Увеличение запасов мобильных форм элементов и органического углерода в 2010-2014 гг., возможно, связано со снижением среднеиюльской температуры воздуха и увеличением осадков в данный период, а также с общей тенденцией увеличения среднегодовой температуры воздуха и сумм осадков.

Таблица 2. Запасы водорастворимых веществ и влаги в почвах.

Почва	Слой почвы, см	С органический, кг/га	С минеральный, кг/га	Ca, кг/га	Mg, кг/га	Влага, мм
III*	0-20	312-875 (563) 522	72-244 (172) 156	107-332 (225) 195	15-81 (66) 41	54-114 (60) 79
	0-50	348-1451 (1103) 984	253-570 (317) 375	323-568 (245) 437	75-159 (84) 100	110-196 (86) 158
IV*	0-20	83-625 (542) 368	48-186 (138) 103	76-235 (159) 144	12-43 (31) 35	61-143 (82) 94
	0-50	219-1517 (1298) 756	135-495 (360) 308	262-807 (545) 435	53-194 (141) 98	124-262 (138) 175
V*	0-20	165-373 (208) 236	26-420 (394) 108	58-172 (114) 97	12-55 (43) 27	45-107 (62) 73
	0-50	358-791 (433) 577	48-602 (554) 175	139-238 (99) 179	27-105 (78) 54	102-252 (150) 176
VI*	0-20	151-831 (680) 415	87-491 (404) 176	69-277 (208) 194	34-93 (59) 60	91-180 (89) 147
	0-50	232-1206 (974) 665	172-1077 (905) 359	130-594 (464) 360	72-307 (235) 152	214-442 (228) 328
III**	0-20	862-1867 (1005) 1283	56-208 (152) 94	122-371 (249) 281	18-95 (77) 41	44-102 (58) 54
	0-50	956-3405 (2449) 2174	180-532 (358) 355	256-621 (365) 786	81-203 (122) 146	86-198 (112) 117
IV**	0-20	941-2546 (1605) 1347	36-438 (396) 110	115-421 (306) 254	17-56 (39) 45	40-129 (89) 48
	0-50	1876-3328 (1452) 2540	91-568 (537) 196	298-976 (678) 491	48-206 (158) 98	103-235 (132) 119
V**	0-20	426-1245 (819) 991	31-154 (123) 49	105-312 (207) 171	25-96 (71) 48	30-98 (68) 45
	0-50	738-2342 (1611) 1973	39-296 (257) 99	208-398 (190) 355	152-198 (146) 92	68-229 (155) 124
VI**	0-20	541-1438 (897) 1040	91-628 (537) 111	82-486 (404) 354	62-186 (124) 130	84-175 (91) 110
	0-50	789-2931 (2142) 1938	190-1567 (1347) 251	199-867 (668) 637	131-502(371) 293	192-355 (163) 245

Примечания к таблице 2: III* – чернозем обыкновенный луговатый, IV* – антропогенная модификация, V* – лугово-черноземная выщелоченная, VI – лугово-болотная иловатая карбонатная (по данным А.В. Мартынова, значения за 1981-1984 гг. (Снытко и др., 1987)); III** – данные автора статьи, значения за 2010-2014 гг.; в числителе дан диапазон значений, в скобках – размах вариации, в знаменателе – среднее значение показателя.

Установлены коэффициенты парной корреляции мобильного органического углерода и отдельных параметров почвы, которые показали, что наибольшая зависимость мобильного

органического углерода обнаружена от температуры почвы (коэффициент корреляции – 0.4-0.6), а температура и влажность почвы имеют обратную зависимость – -0.4-0.7, т.е. чем выше температура почвы, тем ниже влажность, и, следовательно, больше содержание водорастворимых элементов и органического углерода.

Представляют интерес средние показатели запаса влаги за вегетационный период (табл. 3), которые показывают, что с момента первых наблюдений они уменьшились примерно на 30% во всех местоположениях.

Таблица 3. Запасы влаги в слое почвы 0-50 см разных местоположений.

Название почвы (индекс)	А*, т/га	Б**, т/га	А, т/га	Б, т/га
	Снытко и др. (1987)***		Собственные данные****	
Чернозем обыкновенный луговатый (III)	1580	32	1170	23
Антропогенная модификация (IV)	1750	35	1190	24
Лугово-черноземная выщелоченная (V)	1760	35	1240	25
Лугово-болотная иловатая карбонатная (VI)	3280	66	2450	49

Примечания к таблице 3. Запасы влаги: А* – суммарные, Б* – средневзвешенные по глубине 0-50 см, *** – средние значения за 1981-1984 гг., ** – средние значения за 2010-2014 гг.

Соотношение температуры воздуха и почвы – одно из важных условий роста и развития растений. Для их нормального функционирования необходимо, чтобы корни находились в более прохладной среде, чем надземные органы. Когда корнеобитаемый слой теплее воздуха, нарушается обмен веществ, так как интенсивность дыхания становится выше, чем ассимиляция (Геосистемы …, 1991).

В лесостепной зоне большую часть вегетационного периода растительность функционирует при благоприятном для нее соотношении между температурой корнеобитаемого слоя почвы и приземного воздуха, когда температура почвы на глубине 15 см в июле ниже температуры воздуха на 6-8°С. На открытых участках (т. III – залежь) температура воздуха в июле примерно в 1.5 раза выше, чем в верхних слоях почвы – 25.8°С и 17°С соответственно. В июле корреляция между температурами приземной атмосферы и корнеобитаемого слоя почвы довольно тесная (табл. 4).

Составленная матрица взаимосвязей температур воздуха и корнеобитаемого слоя почвы на разных глубинах показала, что в слое почв 0-20 см зависимости различаются, но имеют тесные связи. Коэффициенты корреляции 0.90-0.97 поверхности почвы и температуры воздуха свидетельствуют о тесной связи компонентов, причем в лугово-болотной почве он более низкий – 0.90. В черноземе обыкновенном луговатом (III) коэффициенты корреляции выражают близкую связь с температурой воздуха – 0.68-0.78, а в антропогенной модификации (IV) – 0.67-0.83. В лугово-болотной иловатой карбонатной почве (VI) коэффициенты корреляции составляют от 0.51 – на глубине 5 см до 0.87 – на глубине 20 см. Растительный покров на лугу и болоте имеет сплошное проективное покрытие и большее разнообразие, тогда как залежь и склон – более разреженное, что и сказывается на температурах почвы.

В ходе наблюдений установлено, что в середине вегетационного сезона температурный режим в слое почв 0-20 см разных местоположений формируется однотипно (рис. 3).

Об это свидетельствуют сходные кривые температурного отклика на солнечную радиацию. Поскольку на поверхности почвы создаются различные термические условия (проективное покрытие растительности, влажность почвы), то и температурный режим различается. Наиболее высокие значения выявлены в антропогенной модификации IV (залежь), а низкие – VI (болото), что согласуется с количественными характеристиками влажности почвы: минимальные – антропогенная модификация IV (залежь), а максимальные – VI (болото).

Датчики температуры («Термохрон»), установленные «in situ» на выровненном участке луговой степи в черноземе обыкновенном луговатом (т. луг – III) и лугово-болотной иловатой карбонатной слоистой почве (т. болото – VI) на глубине 20 см показали, что температурные кривые имеют разную конфигурацию (рис. 4).

Таблица 4. Коэффициенты корреляции между температурой воздуха на высоте 1.5 м и температурой почвы на разной глубине.

Название почвы	Показатель		Температура воздуха (Тв)	Температура почвы (Тп) на разной глубине				
				Поверхность	5 см	10 см	15 см	20 см
Чернозем обыкновенный луговатый (III)	Тв		1.00					
	Тп на разной глубине	Поверхность	0.96	1.00				
		5 см	0.73	0.79	1.00			
		10 см	0.68	0.79	0.71	1.00		
		15 см	0.78	0.82	0.91	0.80	1.00	
		20 см	0.77	0.80	0.95	0.59	0.93	1.00
Антропогенная модификация (IV)	Тв		1.00					
	Тп на разной глубине	Поверхность	0.95	1.00				
		5 см	0.80	0.77	1.00			
		10 см	0.67	0.74	0.83	1.00		
		15 см	0.83	0.76	0.69	0.82	1.00	
		20 см	0.83	0.67	0.51	0.65	0.89	1.00
Лугово-черноземная выщелоченная (V)	Тв		1.00					
	Тп на разной глубине	Поверхность	0.97	1.00				
		5 см	0.77	0.77	1.00			
		10 см	0.67	0.60	0.91	1.00		
		15 см	0.73	0.71	0.64	0.56	1.00	
		20 см	0.72	0.80	0.42	0.20	0.52	1.00
Лугово-болотная иловатая карбонатная (VI)	Тв		1.00					
	Тп на разной глубине	Поверхность	0.90	1.00				
		5 см	0.51	0.69	1.00			
		10 см	0.75	0.83	0.72	1.00		
		15 см	0.84	0.96	0.51	0.82	1.00	
		20 см	0.87	0.93	0.51	0.83	1.00	1.00

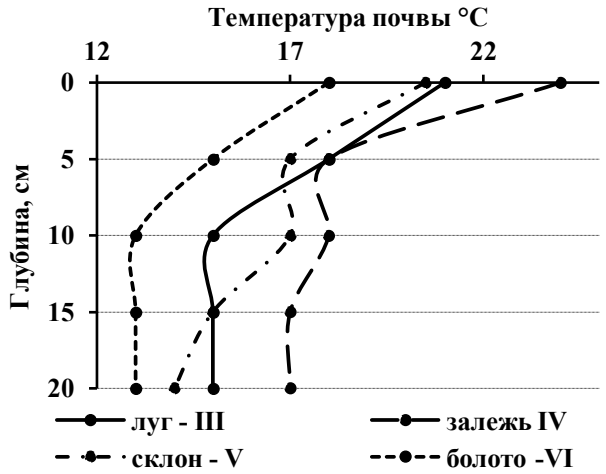


Рис. 3. Изменения температуры в почвенном профиле в сопряженном ряду: луг (III) – залежь (IV) – склон (V) – болото (VI).

Переход через ноль в черноземе обыкновенном луговатом (III) на глубине 20 см осуществляется в середине декабря (13.12), а весной – во второй декаде апреля (14.04). В лугово-болотной почве (VI) переход через ноль установлен в последней декаде февраля (26.02.2011) и в середине мая (13.05.2011). Период с отрицательными температурами в черноземе обыкновенном луговатом (III) длится с декабря по апрель (4 месяца), а в лугово-болотной почве (VI) с февраля до середины мая (3 месяца). Обнаружен сдвиг отрицательных температур примерно на 1.5-2 месяца. Согласно тем же измерениям, минимальные температуры в черноземе обыкновенном луговатом обнаружены в середине февраля (11-15 февраля), а в лугово-болотной – с февраля по май. В холодный период лугово-болотная почва промерзала

незначительно, низкие отрицательные температуры сохранялись длительное время уровне -0.5°С. Самая высокая температура обнаружена в июле в черноземе обыкновенном луговатом и лугово-болотной, причем значения были близкими – 14.4-14.5°С. Полученные данные согласуются с материалами других авторов (Дюкарев, 2012; Махатков, Ермолов, 2015; Коронатова, Миронычева-Токарева, 2019).

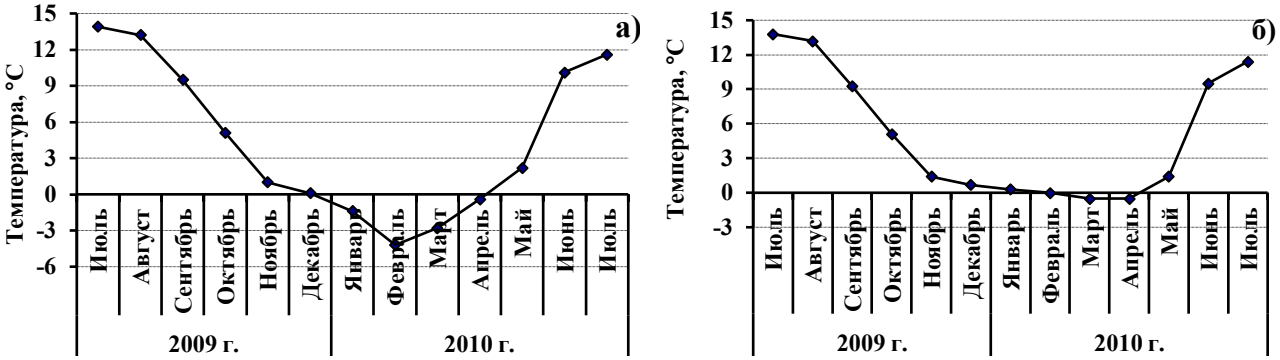


Рис. 4. Динамика температуры почвы в черноземе обыкновенном луговатом (а) и лугово-болотной почве (б) на глубине 20 см по данным измерителя температуры «ТЕРМОХРОН».

На основании полученных данных температурного режима чернозема обыкновенного луговатого и лугово-болотной почвы установлен различный ход температурных кривых: III – более крутая, VI – более пологая. Наибольшие различия выявлены в зимний период, а летом отличия менее заметны.

Выводы

При анализе выявленных изменений водорастворимых форм кальция, магния, углерода и гидротермического режима почв в сопряженном ряду: чернозем обыкновенный луговатый (луг) – антропогенная модификация (залежь) – лугово-черноземная выщелоченная (склон) – лугово-болотная карбонатная почва (болото) установлены направления изменения их количественных показателей.

Выявлено, что почвы, находящиеся в условно естественном и антропогенно измененном состоянии, обладают значительными временными колебаниями в содержании водорастворимых форм элементов и органического углерода. Направление миграции элементов определяется рельефом местности. Потоки вещества перемещаются от положительных форм рельефа к днищу лога.

Оценка взаимосвязей запасов водорастворимых форм и влаги установила отчетливую зависимость этих показателей от местоположения. Так, минимальные показатели водорастворимых органоминеральных компонентов были в лугово-черноземной выщелоченной почве (склоновое местоположение), вследствие выноса этих элементов с водными потоками в нижележащую болотную фацию, где и происходит их накопление. Эти тенденции были установлены в начале 80-х годов прошлого столетия А.В. Мартыновым и нашли свое подтверждение в исследованиях автора в 2003-2014 гг.

Выявлено, что температуры корнеобитаемого слоя зависят от множества факторов, в том числе от растительного покрова (проективное покрытие) и формы рельефа (крутизна склона). Установлено, что в середине вегетационного сезона температурный режим в слое почв 0-20 см разных местоположений формируется однотипно. Об это свидетельствуют сходные кривые температурного отклика на солнечную радиацию и достаточно высокие коэффициенты корреляции: температуры воздуха и поверхности почвы – 0.90-0.97 и температуры воздуха и почвы на глубине 20 см – 0.72-0.87.

Температурный режим в черноземе обыкновенном луговатом и лугово-болотной почве описывается разными кривыми, что было установлено по данным регистратора температуры «ТЕРМОХРОН». В черноземе обыкновенном луговатом температурная кривая более крутая и температуры промерзания более низкие, чем в лугово-болотной почве. Отрицательные температуры в почве точки VI показывают более поздний переход через ноль и более высокие значения температуры. Отрицательные температуры сохранялись в черноземе обыкновенном луговатом (III) в течение 4 месяцев, а в лугово-болотной почве (VI) – 3. Обнаружен сдвиг отрицательных температур

примерно на 1.5-2 месяца.

Приведенные данные показывают, что отмеченный незначительный и недостоверный рост среднегодовой температуры воздуха при достаточном количестве атмосферных осадков может вызывать изменения в запасах водорастворимых форм кальция, магния, органического и минерального углерода. Температуры корнеобитаемого слоя зависят от множества факторов, в том числе от растительного покрова и формы рельефа (крутизна склона). Слабый уклон и неудовлетворительные водно-физические свойства лугово-болотной почвы приводят к понижению температуры корнобитаемого слоя и переувлажнению профиля почвы.

Финансирование. Работа выполнена в рамках темы Государственного задания ИГ СО РАН: (№ FWEM-2021-0002), номер госрегистрации темы: АААА-А21-121012190055-7 "Пространственно-временные закономерности вещественного состояния ландшафтов Сибири в изменяющихся условиях среды".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аринушкина Е.В. 1970. Руководство по химическому анализу почв. М.: Издательство МГУ. 488 с.

Воробьева И.Б. 2020. Гидротермические условия природных и антропогенных измененных почв Назаровского лесостепи // Успехи современного естествознания. № 9. С. 33-39.

Географические исследования Сибири. Ландшафтные процессы. 2007. Т. 2. Новосибирск: ГЕО. 315 с.

Геосистемы контакта тайги и степи: Юг Центральной Сибири. 1991. Новосибирск: Наука. 217 с.

Горбачев В.Н. 2014. Проблема взаимосвязи почв и экологических факторов почвообразования // Ульяновский медико-биологический журнал. № 2. С. 107-117.

Доклад о состоянии и использовании земель Красноярского края за 2018 год. 2019. Красноярск. 129 с.

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год. 2020 // Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). М. 97 с.

Дюкарев Е.А. 2012. Амплитуда суточного хода температуры торфяной почвы // Вестник Томского государственного университета. № 365. С. 201-205.

Коронатова Н.Г., Миронычева-Токарева Н.П. 2019. Температурный режим торфяных олиготрофных почв лесостепи Западной Сибири (на примере Николаевского ряма) // Вестник Томского государственного университета. Биология. № 45. С. 190-209.

Кочугова Е.А. 2018. Климатические изменения режима увлажнения Иркутской области в зимний период // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». Т. 25. С. 107-120.

Мартынов А.В. 1983. Почвенно-геохимические показатели динамики вещества в естественных и измененных геосистемах // Динамика вещества в геосистемах. Иркутск. С.17-27.

Махатков И.Д., Ермолов Ю.В. 2015. Температурный режим деятельного слоя верхового болота Северной тайги // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. № 11. Ч. 3. С. 400-407.

Межправительсвенная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК). Пресс-релиз МГЭИК, 25 сентября 2019 г. 2019. [Электронный ресурс https://www.ipcc.ch/report/srocc (дата обращения 10.02. 2021)].

Общая информация о Красноярском крае. 2013 [Электронный ресурс https://www.krsk.kp.ru/daily/26168/3054957/https://www.krsk.kp.ru/daily/26168/3054957 (дата обращения 05.10.2021)].

Природа и хозяйство района первоочередного формирования КАТЭКа. 1983. Новосибирск: Наука. 258 с.

Снытко В.А., Семенов Ю.М., Мартынов А.В. 1987. Ландшафтно-геохимический анализ геосистем КАТЭКа. Новосибирск: Наука. 108 с.

Что такое климатическая норма? 2016 [Электронный ресурс https://primpogoda.ru/articles/prosto_o_pogode/chto_takoe_klimaticheskaya_norma (дата обращения 14.10.2021)].

Vorobyeva I.B. 2013. Features of hydrothermal conditions and organic matter of soils in island forest steppe (Nazarovskaya depression) // Arid ecosystems. Vol. 3. No. 2. P. 77-84. [*Воробьева И.Б.* 2013. Особенности гидротермических условий и органическое вещество почв островной лесостепи (Назаровская котловина) // Аридные экосистемы. Т. 19. № 2 (55). С. 29-38.]

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2022, том 28, № 2 (91), с. 51-61

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 631.445.57

ИЗОТОПНАЯ ПОДПИСЬ ПОЧВ В ДИАГНОСТИКЕ ПРОЦЕССОВ АРИДИЗАЦИИ ЛАНДШАФТОВ ДАГЕСТАНА

© 2022 г. Н.О. Ковалева

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, факультет почвоведения Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12. E-mail: natalia_kovaleva@mail.ru

Поступила в редакцию 20.10.2021. После доработки 23.11.2021. Принята к публикации 11.12.2021.

Любые вызовы неустойчивой в последнее время климатической системы планеты проявляются прежде всего в «краевых частях» биосферы, к которым относятся горные ландшафты. Горные экосистемы аридных регионов отличаются особенной хрупкостью по отношению к естественным или антропогенным внешним воздействиям и наиболее длительно восстанавливаются после нарушения. Цель нашего исследования – с привлечением метода стабильных изотопов изучить характер и особенности воздействия на экосистемы Внутреннего Дагестана климатических и антропогенных факторов, сменявших друг друга или действовавших совместно на протяжении голоцена, оценить их вклад в современную прогрессирующую аридизацию ландшафтов Восточного Кавказа. Почвенный покров вертикальных зон (от 2000 до 4000 м н.у.м.). Восточного Кавказа изучался в Ахтынском районе Внутреннего Дагестана на участках с разными видами хозяйственной деятельности (пастбища с разной интенсивностью выпаса, сенокосы, естественные луга). Методы исследования включали определение общих химических свойств почв (актуальной кислотности, содержания углерода и азота), магнитной восприимчивости, показателей гумусного состояния почв, масс-спектрометрическое определение изотопного состава углерода ($\delta^{13}C$) и азота ($\delta^{15}N$), определение возраста почв методом радиоуглеродного датирования гумуса. Установлено, что следствием динамичных условий почвообразования является полигенетичный облик почвенного покрова: эпохам стабилизации поверхности соответствуют погребенные горизонты и почвы, эпохам активизации экзогенеза – слои повышенной щебнистости и горизонты породы. Выявлена контрастность свойств погребенных почв разного возраста, дневных и погребенных горизонтов. Следовательно, разновременные эпохи формирования погребенных почв отличались и климатическими условиями: аридные эпохи раннебореального и атлантического оптимумов голоцена циклически сменялись более холодными и гумидными, а средневековый оптимум отличался умеренным климатом, сходным с современным. Малый ледниковый период на территории Внутреннего Дагестана не был ярко выражен. Однако установленный тренд увлажнения климата нивелируется «остепнением» ландшафтов в результате их антропогенного освоения.

Ключевые слова: горные почвы, голоцен, палеосреда, изотопный состав углерода.

DOI: 10.24412/1993-3916-2022-2-51-61

Новые вызовы меняющейся климатической системы планеты проявляются в усилении интенсивности стихийных бедствий и нарастающем потеплении климата. Они ставят перед естествознанием задачу поиска пространственных закономерностей развития региональных геосистем во времени, диктуют необходимость разработки комплексных региональных палеоэкологических реконструкций для составления прогнозных моделей природных явлений и процессов. Но любой климатический сценарий, даже кратковременный, прежде всего проявляется, регистрируется и обладает наименьшей инерционностью в «краевых частях» биосферы – в горных ландшафтах.

Однако из-за повышенной сенсорности горные экосистемы, в частности, аридных регионов, отличаются особенной хрупкостью по отношению к естественным или антропогенным внешним воздействиям. Они наиболее трудно и длительно восстанавливаются после нарушения из-за близости

к поверхности массивно-кристаллических пород, значительных уклонов и сложности горного рельефа, короткого вегетационного периода и т.д. При полном уничтожении почвенного покрова ландшафты становится невозобновляемыми вовсе.

Так, структура почвенного покрова горных и предгорных территорий Дагестана сложна, ее характер определяется не только частой сменой почвообразующих пород и рельефом, но и в значительной степени историей смены биогеоценозов (Котенко, 2018). Для каждой высотной зоны характерна своя особая серия пройденных этапов во взаимоотношениях лесной и степной растительности, естественных и антропогенных нарушений, наложивших отпечаток на эволюцию ландшафтов. Для Восточного Кавказа, например, Б.А. Будагов с соавторами (1986) считает движущим фактором эволюции – антропогенный. Именно с ним автор связывает начало процесса снижения верхней границы леса. Ведь начиная с неолита из-за интенсивного выпаса овец в переходной полосе от горных лесов к горным лугам (1800-2400 м н.у.м.) прекратилось самовозобновление горных лесов. В настоящее время на преобладающей территории Восточного Кавказа верхняя граница лесов расположена на 200-300 м ниже ее естественного положения. В заповедниках она имеет отметки 2300-2400 м н.у.м. Также изменились состав и структура леса: он стал более разреженным и представлен в основном послелесными формациями. По нашим данным (Быковская, Ковалева, 2010), этот процесс на Большом Кавказе продолжается и сейчас. Он во многом определяется изменениями климата и распадом горного оледенения. Однако палеоэкологические архивы горного Дагестана пока еще остаются недостаточно изученными, а радиоуглеродные датировки погребенных почв в большинстве своем недоступны для прогнозного моделирования. Одним из самых перспективных методов изучения реликтовых признаков органического вещества почв является метод геохимии стабильных изотопов (Kovaleva, 2018). Специфическое соотношение стабильных нерадиоактивных изотопов или неустойчивых радиоактивных изотопов определенных химических элементов в исследуемом материале называется изотопной подписью или изотопной сигнатурой. В нашем случае в качестве атомарных биомаркеров растительности выбраны соотношения изотов органических элементов $^{13}C/^{12}C$ и $^{15}N/^{14}N$. Величина $\delta^{13}C$ в растительных тканях зависит от типа фотосинтеза, т.е. от биохимических особенностей ассимиляции углекислого газа. А углерод-обменная система планеты, в свою очередь, напрямую зависит от климата. Такая углерод-изотопная чувствительность растений к климатическим параметрам может быть использована в качестве основы для палеоклиматических реконструкций при изучении органического вещества почв. Дальнейшее фракционирование изотопов в почве зависит от микробиоты. Условия превращения органических остатков в гумус корректируются величиной $\delta^{15}N$.

Цель исследования – с привлечением метода стабильных изотопов изучить характер и особенности воздействия на экосистемы Внутреннего Дагестана климатических и антропогенных факторов, сменявших друг друга или действовавших совместно на протяжении голоцена, оценить их вклад в современную прогрессирующую аридизацию (Залибеков, Гамзатова, 2017) ландшафтов Восточного Кавказа.

Объекты и методы исследований

Климат Внутреннего Дагестана в значительной степени обусловлен рельефом. Предгорная зона, несмотря на небольшую высоту, перехватывает большую часть влажных атмосферных масс, идущих со стороны Каспийского моря. Это главная причина сухости горного Дагестана. В районе исследований количество осадков достигает 1500 мм в год при испаряемости 600-700 мм. Среднегодовая температура воздуха – 4-7°С, продолжительность периода с температурой воздуха более 10°С составляет 15 дней, сумма активных температур – 2000-2500°С. Максимальная температура воздуха – 30-35°С, минимальная – -25°С (Залибеков, 1982).

Внутренний Дагестан по составу почвообразующих пород разделяется на две части: меньшую, северо-восточную известняковую, или Нижний Дагестан, и большую, юго-западную сланцевую, или Верхний Дагестан. Известняковый Дагестан сильно расчленен эрозией: длинные островерхие хребты чередуются с широкими плосковерхими, ущелья сменяются котловинами, столовыми горами и круто обрезанными плато. К известнякам, песчаникам, доломитам, мергелям и алебастрам приурочены, как правило, горные лугово-степные почвы, а к глинистым сланцам – горно-луговые.

Наиболее характерной растительностью горного Дагестана являются нагорные ксерофиты: астрагал трагакантовый (*Gummi tragacanthae*[1]), татарник дагестанский (*Onopordum dagestanis*), эфедра (*Ephedra*), шалфей седеющий (*Salvia canescens*), шлемник восточный (*Scutellaria orientalis*) При этом к известковым породам приурочены степные виды растений – типчак (*Festuca*), ковыль (*Stipa*), тонконог (*Koeleria)*. В высокогорье (на глинистых сланцах) появляется типичная луговая растительность: клевер (*Trifólium*), эспарцет (*Onobrychis)*, злаковые.

Для изучения характера почвенного покрова Восточного Кавказа в Ахтынском районе Внутреннего Дагестана (массив горы Шалбуздаг, 4141 м н.у.м.) в ходе комплексной экспедиции МГУ и Дагестанского научного центра РАН (руководитель работ – З.Г. Залибеков) было заложено 30 почвенных разрезов (рис. 1), которыми вскрылись следующие типы почв.[2]

1. Горные лугово-степные почвы – на известняковых породах и моренах раннего голоцена в Нижнем Дагестане (2000-2500 м н.у.м.) под типчаково-ковыльной растительностью (разрезы № 3, 4, 5, 10, 11, 20, 22).

2. Горные черноземы – на известняковых породах ниже морен последнего ледникового наступания (1900-2000 м н.у.м.) под типчаково-ковыльной растительностью (разрезы № 6, 12, 24).

3. Горно-луговые субальпийские (разрезы № 1, 2, 7, 14, 15, 119, 120, 121) и альпийские почвы (разрезы № 13, 114, 115, 116, 117) под разнотравной субальпийской и альпийской луговой растительностью на сланцевых породах и моренах позднего голоцена в Верхнем Дагестане (2500-4000 м н.у.м.).

При этом разрезы № 4-6 и 10-12 заложены на сенокосных угодьях, № 16 и 20 – на участке пастбищеоборота (контролируемый выпас), № 23 и 24 – на естественном лугу, а остальные – на пастбищах с разной интенсивностью выпаса.

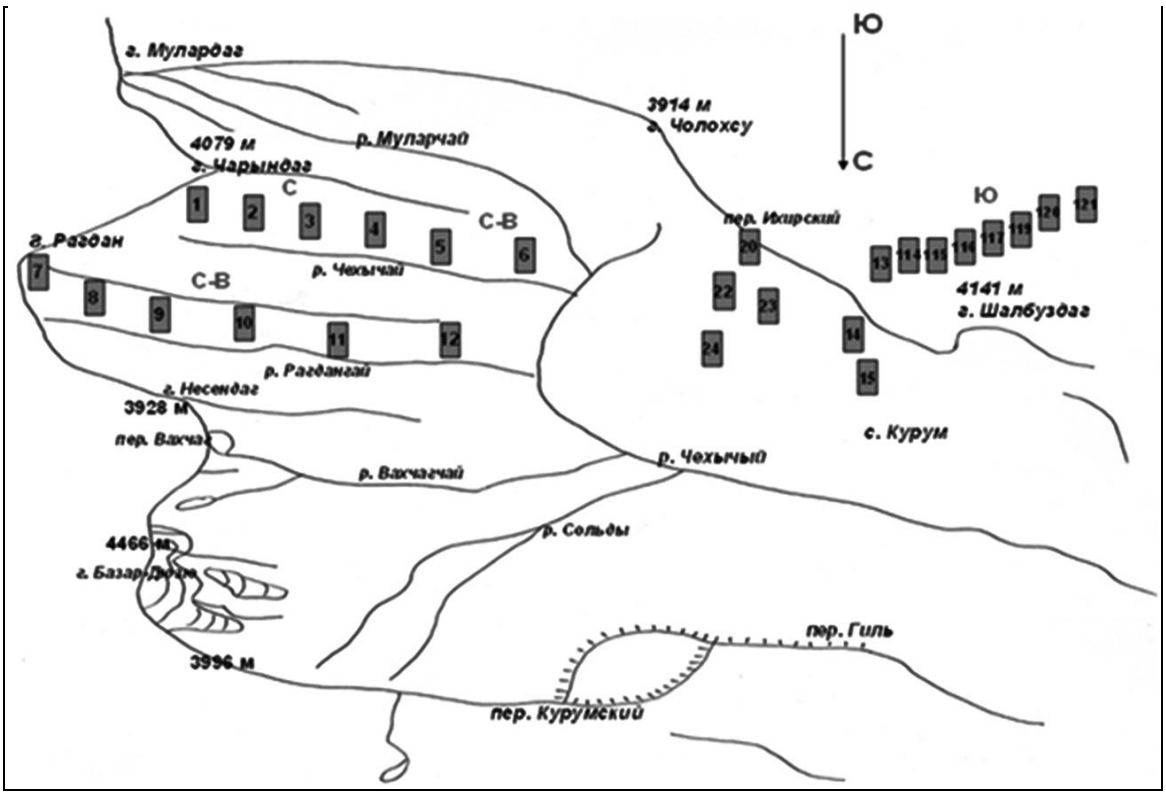


Рис. 1. Схема расположения почвенных разрезов в районе исследований.

Методы исследования включали определение актуальной кислотности, содержания углерода и азота органических соединений на CNS-анализаторе, магнитной восприимчивости каппаметром

[1] Латинские названия растений приводятся по работе С.К.Черепанова (1995).

[2] Названия почв даны по Классификации и диагностике почв СССР (1977).

модели КТ-5, анализ спектральной отражательной способности почв, группового состава гумуса по методу Тюрина в модификации Пономаревой и Плотниковой (Орлов, Гришина, 1981), спектров поглощения щелочных растворов (0.1н NaOH) гуминовых кислот 2 фракции на спектрофотометрах СФ-18 по методике Д.С. Орлова и Л.А. Гришиной (1981). Определение изотопного состава углерода органического вещества почв выполнялось в Институте проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцева, с использованием масс-спектрометра Thermo-Finnigan Delta V Plus IRMS и элементного анализатора Thermo Flash1112. Данные выражены в $\delta^{13}C$‰ по отношению к стандарту PDB. Для удаления карбонатов почвы были предварительно подвергнуты фумигации (Harris et al., 2001).

Также в некоторых образцах методом радиоуглеродного датирования был определен возраст почв. Выделение счетной формы (бензола) и определение возраста производилось в лаборатории Центра изотопных исследований Всероссийского научно-исследовательского геологического института имени А.П. Карпинского на жидкостно-сцинтилляционном альфа-бета-спектрометре Quantulus 1220.

Результаты исследований

Анализ морфологии профилей почв обнаруживает, что они представляют собой совокупность горизонтов различного генезиса. Горизонты почв перекрыты щебнистыми прослоями или слоями, богатыми щебнем, что свидетельствует о чередующихся этапах седиментогенеза и почвообразования. Интересно заметить, что формы профилей щебнистости хорошо коррелируют с высотами, для которых выделены (Будагов, 1986) положения стационирования ледников в позднеледниковье и голоцене и, на первый взгляд, отражают закономерности распада последнего оледенения горных вершин: Лезинская стадия (2500-2600 м н.у.м.) – 150-91 тыс. лет назад, Шахдюзинская стадия (2800-3000 м н.у.м.) – 12.8-9.7 тыс. лет назад, Шахюрдская стадия (3000-3200 м н.у.м.) – 10-8 тыс. лет назад. В почвах, используемых под сенокос, щебень размером менее 1 мм составляет от 73% до 98% от общего количества щебня, а доля щебня размером более 10 мм стремится к 0, наблюдается также тенденция увеличения содержания щебня к нижней части профиля. В почвах пастбищ содержание щебня размером более 10 мм в верхних горизонтах доходит в некоторых случаях до 25%. Щебень размером 1 мм и менее составляет уже от 9% до 84% (чаще – около 50%) от общего, а к нижним горизонтам почв его содержание падает. Описывая похожие явления на Северо-Западном Кавказе, А.И. Ромашкевич (1988) называл их «выходом щебня на поверхность» в результате перевыпаса.

Закономерно ухудшается и структура почв по мере увеличения антропогенной нагрузки. Если структура гумусово-аккумулятивных горизонтов горно-луговой альпийской почвы, используемой под сенокос, комковатая, то структура почв, используемых под пастбище, либо плохо выражена или отсутствует вовсе, либо отличается глыбистостью.

При перевыпасе происходит уплотнение почвенной массы (табл. 1). Плотность сложения почв естественных лугов, на которых ведется бессистемный выпас, заметно выше объемного веса почв сенокосных территорий, с, на которых выпас не производится. При этом величина плотности сложения сухой почвы пастбища с контролируемым выпасом, такая же или чуть выше, чем у почв под сенокосами.

Профили горно-луговых почв Дагестана содержат ритмичные серии пространственно выраженных погребенных гумусовых горизонтов, некогда бывших дневными. При изреженности растительного покрова в почвах этих аридных ландшафтов дерновый горизонт в них часто фрагментарен. Современные дневные гумусовые горизонты отличаются буровато-серой или буровато-черной окраской, комковато-порошистой структурой, среднесуглинистым гранулометрическим составом, разной плотностью; границы с нижележащими горизонтами у них затечные или ровные. Для этих горизонтов характерно отсутствие щебня и наличие большого количества корней.

Погребенные гумусовые горизонты отличает от современных более темная окраска, лучшая оструктуренность, наличие железистых новообразований и даже глинистых кутан – свидетелей длительных периодов повышенной увлажненности, большая мощность (до 41 см), большое количество отмерших корней (разрезы № 13, 14, 115, 116). Заметные переходы между горизонтами и ровные границы говорят об отсутствии мощных процессов вертикального переноса веществ, что отвечает современным климатическим условиям.

Таблица 1. Некоторые физико-химические свойства исследуемых почв.

Почва, угодье, номер разреза	Название горизонта и глубина, см	pH_{H2O}	Магнитная восприимчивость, χ·(10^-6 СГСМ)	Гумус, %	Плотность сложения сухой почвы, г/см^3
Горно-луговая альпийская, пастбище, 13	А 0-10	8.3	12.00	1.33	1.20
	АВ 19-42	7.5	11.23	1.22	1.27
	В 42-67	7.9	11.47	1.82	1.43
Горно-луговая альпийская, пастбище, 115	А 0-22	6.8	12.82	4.15	1.00
	В 22-45	6.9	10.18	1.74	1.22
Горно-луговая альпийская, пастбищеоборот, 116	АВ 33-53	6.4	8.02	4.74	0.74
	В 55-75	6.6	12.15	4.78	0.92
	[А] 75-115	6.5	9.91	1.55	1.00
Горная лугово-степная, сенокос, 4	А 0-6	6.0	48.81	14.08	0.48
	А 6-32	5.6	43.80	3.99	0.94
	[А] 32-78	5.8	40.08	3.28	1.06
Горная лугово-степная, сенокос, 5	А 0-6	6.3	66.06	16.15	0.61
	А 6-20	5.8	71.54	3.73	1.00
	АВ 20-40	5.8	57.22	3.80	0.92
	В 40-60	5.6	7.5	1.27	0.96
Горный чернозем, луг, 6	А 0-6	6.1	74.14	14.73	0.68
	АВ 6-36	5.3	74.57	4.45	0.95
Горно-луговая альпийская, пастбище, 117	А 0-15	6.7	46.80	1.31	1.37
	АВ 15-35	6.3	31.96	3.12	1.07
	[А] 72-137	6.7	33.71	2.49	1.23
Горно-луговая субальпийская пастбище, 14	А 0-10	7.1	19.15	9.11	1.00
	АВ 19-42	7.2	21.62	1.01	1.22
	[А] 42-69	7.6	19.14	2.49	1.05
	[АВ] 70-92	7.9	14.82	1.53	1.03
	С 92-130	6.9	15.52	1.16	1.10
Горно-луговая субальпийская, пастбище, 15	А 0-16	7.2	40.25	5.00	1.22
	В 16-52	7.7	32.63	3.45	1.37
	ВС 85-103	7.8	9.26	2.02	1.22
Горная лугово-степная, пастбище, 20	А 0-25	7.0	83.74	4.86	1.12
	АВ 25-46	7.1	111.82	3.31	1.34
	В 46-73	7.4	96.07	2.24	1.45
	ВС 73-120	7.7	10.01	1.82	1.54
Горная лугово-степная, пастбищеоборот, 22	А 0-19	6.4	11.15	7.32	0.70
	С 19-48	7.2	12.66	2.58	1.01
	[А] 28-85	7.7	13.53	2.58	1.18
	С 85-105	7.5	14.71	1.99	1.23

Цветовые характеристики почв, являясь следствием результатов почвообразования, хранят информацию об эволюции почв и направленности почвообразовательных процессов. Спектры отражения изучаемых почв представлены тремя типами кривых: 1) пологими – для гумусо-аккумулятивных горизонтов лугово-степных почв (разрез № 22, табл. 1), 2) пологими кривыми с

высоким уровнем отражения – для сильно окарбоначенных горизонтов (разрез № 115, табл. 1), 3) кривыми с двумя перегибами в области 410-480 нм и 540-640 нм. Последние диапазоны обусловлене влиянием соединений железа, характерны для некоторых погребенных горизонтов полигенетичных почв (разрез № 16, табл. 1).

Величины отражения увеличиваются вглубь профиля, и уменьшается в ряду: горно-луговые альпийские – горно-луговые субальпийские – горно-луговые степные почвы.

Числовые характеристики отражения указывают на двучленность горно-лугово-степной почвы разреза № 22 и горно-луговой альпийской почвы разреза № 16. Погребенные горизонты отличаются неярко выраженными «иллювиальными» спектрами отражения и значительно повышенными спектральными характеристиками по сравнению с вышележащими слоями (табл. 1).

Исследованные почвы имеют нейтральную, средне- и слабощелочную реакцию среды (табл. 2). Погребенные горизонты отличаются повышенной величиной pH по сравнению с дневными. Содержание гумуса в почвах Дагестана оценивается как высокое и среднее в дневных горизонтах, низкое и среднее (Орлов, Гришина, 1981) в нижележащих. Характер распределения значений по профилю – регрессивно-аккумулятивный.

Изотопный состав углерода гумуса, определенный в профилях исследуемых почв впервые, обнаруживает две области значений: более легкие (-25-26‰) в верхних горизонтах и утяжеленные (-23-24‰) в нижних. Первые из упомянутых величин $\delta^{13}C$ характеризуют современные растительные ассоциации с типом фотосинтеза С4. Он типичен для растений умеренных широт и диагностируют умеренно-влажный климат лугово-степного пояса. Возраст гумуса, сформированного данными растительными остатками, составил 610±150 лет (RGI-54). А значит, почвы интенсивно развивались в средневековый климатический оптимум – около 1251-1449 гг. (калибровка выполнена по калибровочной кривой M. Stuiver и P.J. Reimer (1993)). Интересно отметить, что средневековый оптимум по изотопному составу гумуса не отличается от современной эпохи, но характеризуется большей увлажненностью климата, нежели предшествующие оптимумы голоцена.

Утяжеление значений $\delta^{13}C$ в погребенных частях профилей адекватно отражает более засушливую (степную) фазу фотосинтеза раннебореального времени с большей долей в составе растительных ассоциаций растений С3 типа фотосинтеза. Возраст погребенного горизонта в разрезе № 14 оказался равным 8060+240 лет (RGI-57), что соответствует календарному возрасту 7307-6688 до н. э. При этом верхняя граница раннебореального оптимума на Восточном Кавказе, выходит за общепринятые рамки, которые обычно ограничены интервалом в 9000-8500 лет. На основании полученных данных можно сделать однозначный вывод о том, что в раннебореальный период голоцена пояс гор на высоте около 3000 м н.у.м. был представлен аридными степными ландшафтами, а количество осадков было меньшим, чем сегодня.

Аналогично более аридным по сравнению с современной и средневековой эпохами выглядит по величинам $\delta^{13}C$ (-23-24‰) и атлантический оптимум голоцена в Дагестане. Возраст гумуса погребенного горизонта из разреза № 22 составил 6430±270 лет (RGI-56), его календарный возраст колеблется в интервале от 5847 до 4766 гг. до н.э. Отчетливое нарушение профилей и наличие в почвах данного региона (горизонт А разреза № 14) прослоев щебня между разновозрастными горизонтами свидетельствует о значительном увеличении количества осадков и активном развитии процессов экзогенеза в промежуточные эпохи похолодания климата.

Важно подчеркнуть, что профильное распределение изотопного состава углерода гумуса обратно коррелирует с величинами магнитной восприимчивости (коэффициент корреляции – -0.7-0.9), подтверждая верность выделения различных этапов климатогенного педолитогенеза (табл. 2).

Горно-луговые и горные лугово-степные почвы Дагестана характеризуются фульватно-гуматным и гуматным типом гумуса (табл. 3). Гуминовые кислоты второй фракции преобладают в групповом составе. Увеличение содержания гуминовых кислот, в том числе второй фракции, а также увеличивающиеся к нижней части профиля значения коэффициентов экстинкции могут свидетельствовать о том, что данные почвы прошли более сухую стадию развития. Горно-луговая субальпийская почва демонстрирует наименьшее значение Сгк/Сфк в погребенном горизонте, что указывает на холодные условия ее формирования. Для горной лугово-степной почвы это значение близко к Сгк/Сфк дневных гумусовых горизонтов.

Низкие значения коэффициентов экстинкции (табл. 3) гуминовых кислот и показателей гумификации почв Восточного Кавказа свидетельствуют о крайне низкой ароматичности гуминовых кислот и разветвленности их периферических частей. Оценка крутизны спектральных кривых с помощью коэффициента Алешина и величины коэффициента цветности показали резкое отличие погребенного горизонта от всех остальных. Коэффициент Алешина в нем достигает значений 1.33 и 5.02, коэффициент цветности – 1.28 и 2.53. Это говорит о наибольшей молекулярной массе и пониженной степени окисленности гуминовых кислот погребенного горизонта горно-луговой степной почвы, а также о его формировании в аридную эпоху, по-видимому, в условиях отсутствия выпаса.

Таблица 2. Характеристика спектральной отражательной способности почв.

Название почвы, номер разреза	Название горизонта (глубина, см)	ρ750*	ρ400	tgα**	h, %***
Горно-луговая альпийская, 13	AB (19-42)	43.00	24.00	0.054	2.00
	B1 (42-67)	47.25	24.75	0.064	3.25
Горно-луговая субальпийская, 14	A (0-10)	25.75	19.30	0.023	3.15
	AB(19-42)	31.75	21.15	0.030	1.05
	Ab (42-69)	33.50	22.00	0.033	1.50
	ABb (70-92)	37.00	23.80	0.038	2.00
	C(92-130)	37.50	23.50	0.040	1.65
Горно-луговая альпийская, 15	A (0-16)	28.75	20.50	0.024	1.00
	B(16-52)	34.50	22.00	0.036	1.25
	BC(85-103)	45.75	24.50	0.061	3.40
Горно-луговая субальпийская, 16	AB (33-53)	43.00	23.50	0.056	3.10
	B (55-75)	31.00	22.50	0.024	1.00
	Ab (75-115)	47.50	24.80	0.065	2.35
Горно-луговая альпийская, 17	AB (15-35)	30.00	20.25	0.028	1.00
	Ab (72-137)	43.25	24.30	0.054	2.75
Горная лугово-степная, 20	A (0-25)	22.50	19.50	0.009	-0.50
	AB (25-46)	19.50	18.75	0.002	-0.75
	B(46-73)	20.00	19.00	0.003	-0.75
	BC (73-120)	33.50	23.20	0.029	1.00
Горная лугово-степная, 22	A (0-19)	25.20	20.00	0.015	1.30
	C (19-48)	32.00	22.90	0.026	0.75
	Ab (28-85)	29.00	22.00	0.020	0.65
	C (85-105)	30.50	22.75	0.022	0.60
Горно-луговая альпийская, 115	A (0-22)	39.50	24.50	0.043	1.65
	B (22-45)	37.50	23.25	0.041	1.35

Примечания к таблице 2: ρ750* – оптическая плотность при длине волны 750 миллимикрон, tgα** – тангенс угла наклона спектральной кривой, h, %*** – высота перегиба спектральной кривой.

Оценка крутизны спектральных кривых методом Салфелда (путем сравнении крутизны спектральных кривых растворов гуминовых кислот с помощью вычисления отношений оптических плотностей при длинах волн 400 и 500 нм, 500 и 600 нм, 600 и 700 нм – рис. 2) также обнаруживает 3 области значений, соответствующих различному строению молекул гуминовых кислот в дневных современных горизонтах, в погребенных слоях и в прослойках породы.

Итак, характеристики органического вещества горных почв Дагестана диагностируют, как минимум, две контрастные эпохи гумусо- и почвообразования. Во-первых, фульватно-гуматный и гуматный тип гумуса дневных горизонтов почв под пастбищами, низкие величины коэффициента экстинкции (0.002-0.004), высокие значения коэффициента цветности (2-3), низкие величины

показателя гумификации отличают современный луговый этап гумусонакопления и почвообразования. Полученные результаты обнаруживают, что в низкоароматичных гидрофильных молекулах гуминовых кислот луговых почв преобладают алифатические фрагменты. Описанная эпоха гумусообразования была возможен лишь в условиях увеличения степени увлажненности климата на протяжении последних 600 лет.

Во-вторых, в профилях почв хорошо прослеживаются следы более аридного степного периода развития. По увеличению в погребенных и нижних горизонтах почв количества гуминовых кислот, в том числе связанных с кальцием, и соответственному увеличению их оптической плотности, уменьшению значений коэффициента цветности (рис. 2) можно диагностировать более сложную, насыщенную бензоидными структурами гидрофобную природу молекул гумуса.

Таблица 3. Изотопный состав углерода и параметры гумусного состояния почв Восточного Кавказа.

Горизонт (глубина, см)	**$\delta^{13}C$, ‰**	**$\delta^{15}N$, ‰**	**Сгк / Сфк**	**$E^{0.001\%}_{1\ см,\ 465}$**	**Доля С4-растений**
					$\%C4 = \frac{(\delta^{13}C_{исх.} - \delta^{13}C_{C3})\cdot 100}{(\delta^{13}C_{C4} - \delta^{13}C_{C3})}$
Разрез 16. Горно-луговая субальпийская почва, 2935 м н.у.м. (пастбищеоборот)					
АВ (33-53)	-24.32	1.82	3.00	0.004	19.16
В (55-75)	-23.80	1.80	1.37	0.011	22.86
[А] (75-115)	-23.80	0.45	3.40	0.005	22.84
Разрез 14. Горно-луговая субальпийская почва, 2870 м н.у.м. (пастбище)					
А (0-10)	-25.59	4.11	3.81	0.004	17.91
АВ (19-42)	-24.46	3.56	0.64	0.006	18.12
[А] (42-69)	-24.30	2.98	2.67	0.016	19.32
[АВ] (70-92)	-24.03	1.13	2.00	0.025	21.23
С (92-130)	-24.06	0.57	–	0.022	21.01
Разрез 22. Горная лугово-степная почва, 2600 м н.у.м. (пастбищеоборот)					
А (0-19)	-25.26	3.83	3.16	0.004	12.44
С (19-48)	-23.87	3.11	2.28	0.012	22.39
[А] (28-85)	-24.22	2.63	1.46	0.013	19.87
С (85-105)	-24.03	2.33	2.58	0.011	21.21
Разрез 117. Горно-луговая альпийская почва, 2550 м н.у.м. (пастбище)					
А (0-16)	-25.59	3.60	1.43	0.002	16.40
АВ (15-35)	-23.83	5.88	1.78	0.003	22.62
[А] (72-137)	-23.36	3.75	2.07	0.012	26.02
Разрез 24. Горный чернозем, 2400 м н.у.м. (сенокос)					
А (0-16)	-24.42	2.19	1.46	0.003	22.91
АВ (25-46)	-23.13	4.11	3.11	0.001	24.11
В (46-73)	-22.88	4.84	3.80	0.004	25.05
ВС (73-120)	-22.80	4.90	0.90	0.022	25.00

Таким образом, период повышенной увлажненности климата пришел на смену аридным эпизодам, однако антропогенное освоение территорий сдвигает природные зоны вниз по склону, остепняя экосистемы горных лугов.

Сравнительный анализ растительности на территориях, испытывающих разнородную антропогенную нагрузку, показывает, что высокогорные сенокосы Восточного Кавказа характеризуются наиболее богатым видовым составом как злаков, так и представителей других семейств (табл. 4). Несмотря на видовое богатство разнотравья, по большому разнообразию злаковых по сравнению с другими угодьями и по их преобладанию в составе растительности, заметна тенденция к остепнению сенокосных территорий. Территория пастбищеоборота характеризуется

вторым по величине проективным покрытием растительности среди изучаемых территорий (70% по сравнению с 90% на сенокосе), видовой состав разнотравья данного угодья отличается наибольшим разнообразием после сенокоса и наименьшим количеством устойчивых к выпасу видов, если сравнивать с пастбищными угодьями. На пастбищах видовое разнообразие злаков коррелирует с проективным покрытием растительности: чем оно больше, тем более широк набор представителей семейства злаковых. Именно их растительные остатки утяжеляют изотопный состав углерода в почвах сенокосных участков, как показано в таблице 2 и в наших предыдущих исследованиях (Kovaleva, 2018).

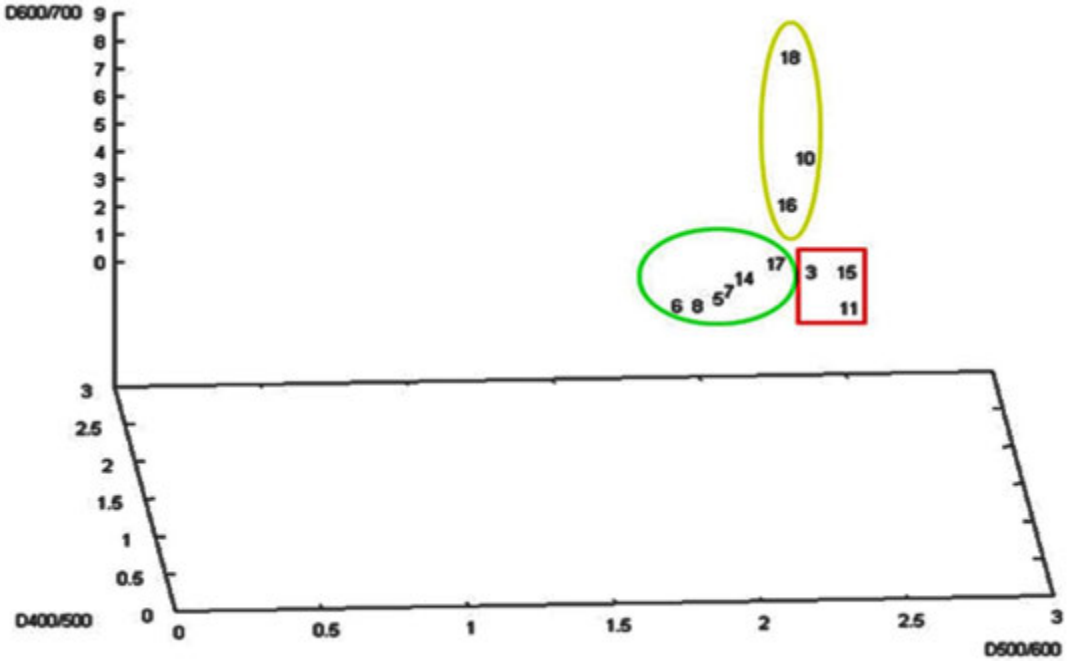


Рис. 2. Оценка крутизны спектральных кривых методом Салфелда. *Условные обозначения:* квадратный контур – горизонты А, горизонтальный эллипс – погребенные горизонты, вертикальный эллипс – горизонты ВС и С, цифры – номера разрезов. По осям координат отложены отношения оптических плотностей (D) при длинах волн 400 и 500 нм (D400/500), 500 и 600 нм (D500/600), 600 и 700 нм (D600/700).

Вместе со злаками в первую очередь выедаются бобовые. Но их видовое разнообразие на пастбищных территориях практически одинаково. На сенокосе они представлены только клевером, что закономерно в связи с абсолютным преобладанием на сенокосных угодьях злаковых над растительностью других семейств.

Наибольшим разнообразием устойчивых к выпасу родов (одуванчик, манжетка, подорожник, осока, горец, прострел и другие) характеризуются угодья с наименьшим проективным покрытием – около 40-50% (разрезы № 2, 23). Небольшим разнообразием таких родов отличаются сенокос и пастбищеоборот.

Выводы

Таким образом, из полученных данных следует, что эволюция горных почв подчинена направлению развития ландшафтов, которое, в свою очередь, определяется общепланетарными климатическими ритмами. Следствием динамичных условий почвообразования является полихронный и полигенетичный облик почвенного покрова: эпохам стабилизации поверхности соответствуют погребенные горизонты и почвы, эпохам активизации экзогенеза – слои повышенной щебнистости и горизонты породы.

Большая мощность, более темная окраска, отличия некоторых других свойств (отражательная способность, pH, характер спектров пропускания) указывают на различие свойств современных и погребенных гумусовых горизонтов.

Таблица 4. Видовой состав растительности угодий различных способов хозяйственного использования.

Сенокос (р. 4, ячменный луг, проективное покрытие – 90%)	**Пастбищеоборот (р. 20, кобрезиево-осоковый луг, пп. – 70%)**	**Пастбище (р. 23, типчаково-трагакантовый остепненный луг, пп. – 40%)**	**Естественный луг (р. 24, ячменно-клеверный луг, пп. – 90%)**	**Пастбище (р. 2, пестроовсяницевый луг, пп. – 50%)**
Злаковые				
Ячмень фиолетовый Полевица плосколистная Костер пестрый Мятлик альпийский Келерия кавказская Овсяница овечья Овсяница пестрая Овсец азиатский	Костер пестрый Мятлик альпийский Келерия кавказская Типчак	Овсяница сизая Пырей ползучий Келерия кавказская	Ячмень фиолетовый Келерия кавказская Мятлик альпийский Костер пестрый Типчак	Овсяница пестрая Келерия кавказская
Разнотравье				
Одуванчик Стевина Горец птичий Аконит Манжетка кавказская Лютик кавказский Мелколепестник одноцветковый Незабудка альпийская Подорожник скальный Клевер Трифолиум амбигум Крупка сибирская Примула холодная Вероника горечавковидная Сиббальдия трехзубчатая Ясколка полевая Низкозонтичник бесстебельный Мытник окрашенноклювый Подмаренник мягкий Очанка лекарственная Сушеница кавказская Вероника кавказская Щавель приальпийский Мелколепестник одноцветковый Колокольчик холмовый Мемуарцы	Кобрезия персидская Низкозонтичник бесстебельный Одуванчик рассеченнолистный Лапчатка полунадрезанная Колокольчик холмовый Клевер сомнительный Ясколка полевая Горечавка водная Подорожник скальный Песчанка горная Мемуарцы Колокольчик Стивени Лапчатка перистолистная Очанка лекарственная Козлобородник тонколистный Осока грустная Смолевка Рупрехта Крупка стручковая Проломник Козо-Полянского Примула холодная Мелкий астрагал Незабудка альпийская	Гвоздика белая Подорожник скальный Горец птичий Тимьян холмовый Трагакант колючковый Лапчатка перистолистная Полынь серебристая Клевер сомнительный Астрагал горный Вероника Петрье Смолевка Рупрехта Горошек горный Проломник Козо-Полянского Бурачок изогнутый Василек Фишера Очиток кавказский Лук каспийский Осока черная Тимьян ползучий Прострел золотистый	Тысячелистник обыкновенный Козлобородник тонколистный Тмин рассечено-листный Василек Фишера Люцерна клейкая Пастернак альпийский Вероника горечавковидная Колокольчик Стивени Макротомия Лядвенец рогатый Подорожник скальный Горец птичий Очанка лекарственная Лапчатка прямостоячая Пастушья сумка Типчак Клевер сомнительный Смолевка Рупрехта Ясколка полевая Горошек горный Горечавка водная Одуванчик Стевина Тимьян холмовый	Манжетка кавказская Манжетка обыкновенная Сиббальдия трехзубчатая Подорожник скальный Лапчатка Кранца Ясколка полевая Трифолиум амбигум Низкозонтичник бесстебельный Лютик кавказский Одуванчик Стевина Вероника горечавковидная Астрагал горный Смолевка Рупрехта Примула холодная Колокольчик холмовый Клевер ползучий Незабудка альпийская Мемуарцы Очанка лекарственная Колокольчик холмовый Осока черная Горечавка водная

В то же время очевидна и контрастность различий в погребенных почвах разного возраста. Следовательно, разновременные эпохи формирования погребенных почв отличались и климатическими условиями: аридные эпохи раннебореального и атлантического оптимумов голоцена циклически сменялись более холодными и гумидными, а средневековый оптимум отличался умеренным климатом, сходным с современным. Малый ледниковый период не территории Внутреннего Дагестана, по-видимому, не был ярко выражен. Однако установленный тренд увлажнения климата нивелируется «остепнением» ландшафтов в результате их антропогенного освоения.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 17-14-01120 2017-2021 гг. «Почвенные биомаркеры в диагностике глобальных изменений климата и предотвращении региональных экологических кризисов».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Будагов Б.А., Мамедов А.В., Ширинов Н.Ш. 1986. Изменения природы горных областей в послеледниковое время (на примере Восточного Кавказа) // Известия АН СССР. Серия География. № 3. С. 84-90.

Быковская Т.К., Ковалева Н.О. 2010. Горные почвы Карачаево-Черкесии. М.: МГУ. 164 с.

Залибеков З.Г. 1982. Методы изучения почвенного покрова в связи с интенсивностью антропогенного воздействия. Диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук. Махачкала. 40 с.

Залибеков З.Г., Гамзатова Х.М. 2017. Типы опустынивания и критерии оценки деградационных процессов // Известия ВУЗов. Северо-Кавказкий регион. № 2. С. 50-56.

Классификация и диагностика почв СССР. 1977. М.: Колос. 221 с.

Ковалева Н.О. 2015. Эволюция горных почв // Эволюция почв и почвенного покрова. Теория, разнообразие природной эволюции и антропогенных трансформаций почв. М: ГЕОС. 925 с.

Котенко М.Е. 2018. Эколого-почвенные особенности биогеоценозов подгорно-приморских равнин Западного Прикаспия и сельскохозяйственное использование почв. Автореф. дисс. ... док. с/х н. М. 50 с.

Орлов Д.С., Гришина Л.А. 1981. Практикум по химии гумуса. М.: МГУ. 272 с.

Ромашкевич А.И. 1996. Горное почвообразование с позиций геолого-геоморфологических и исторических его основ. // Почвоведение. № 1. С. 64-76.

Черепанов С.К. 1995. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). Спб.: Мир и семья. 992 с.

Kovaleva N.O. 2018. Isotopic signature of Tian-Shan mountain soils as a record of climatic changes of the Late Pleistocene and Holocene // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Bristol, UK: IOP Publishing. Vol. 107. No. 1. 012117. P. 1-6.

Kovalev I.V., Kovaleva N.O. 2018. Lignin in the Organic Matter of the Soils of the Russian Plain as Biomarker of Palaeoenvironment // IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciencею United Kingdom: Institute of Physics Publishing. Vol. 107. No. 1. 012116. P. 1-7.

Harris D., Norwáth W.R., van Kessel C. 2001. Acid fumigation of soils to remove carbonates prior to total organic carbon or carbon-13 isotopic analysis // Soil Science Society American Journal. Vol. 65. P. 1853-1856.

Stuiver M., Reimer P.J. 1993. Extended 14C base and revised CALIB 3.0 14C age calibration program // Radiocarbon. Vol. 35. No. 1. P. 215-230.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2022, том 28, № 2 (91), с. 62-70

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 631.4

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПОЧВАХ СТЕПНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

© 2022 г. Г.Д. Чимитдоржиева, Е.А. Бодеева, Э.О. Чимитдоржиева

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

Поступила в редакцию 30.07.2021. После доработки 14.12.2021. Принята к публикации 13.01.2022.

Представлены результаты экспериментальной работы по исследованию трансформационного потока тяжелых металлов: меди, цинка, никеля и свинца из почвообразующих пород в каштановые почвы, далее в целинный травостой и гумусовые вещества. Почвообразующими породами служат делювиальные и делювиально-пролювиальные отложения, а также отложения песков и галечников, которые в результате их выветривания, перемещения и переотложения обусловливают неодинаковый гранулометрический, минералогический и химический состав пород, отражаясь на составе почвенного покрова. Каштановые почвы характеризуются засушливым климатом, долгим пребыванием в мерзлом состоянии, низкой биопродуктивностью, маломощностью, легким гранулометрическим составом, низкогумусностью. Для экстракции гумусовых веществ использовали метод Гримме. Определение содержания микроэлементов проводили атомно-абсорбционным методом с прямой электротермической атомизацией проб. Тяжелые металлы определялись на атомно – абсорбционном спектрофотометре – AAS-15 Perkin Elmer. Выявлено, что вследствие обедненности пород медью и никелем их в почвах мало, а цинка и свинца больше, что соответственно отражается на растительности и гумусе.

Ключевые слова: тяжелые металлы, почвообразующие породы, растительность, каштановые почвы, гумусовые вещества, Западное Забайкалье.

DOI: 10.24412/1993-3916-2022-2-62-70

Тяжелые металлы (ТМ), некоторые из которых относятся к микроэлементам (МЭ), содержатся во всех компонентах окружающей среды: в горных породах, почвах, водах, растительных и животных организмах, в воздухе, некоторые из которых являются жизненно важными элементами. К основным источникам загрязнения относятся: аэральное, гидрогенное, с осадками, от сточных вод, с золой, с разливами нефти и т.д., а также литогенное. Поступление их в окружающую среду зависит от многих факторов, в первую очередь поступают высоко кларковые элементы (Водяницкий, 2017). Влияет еще и характер технофильности элементов, в котором Pb занимает 4 место, Cu – 8, Zn – 10 и чуть пониже Ni. Среди средне кларковых элементов свинец наиболее технофилен. Почва – основной источник микроэлементов, поступающих в пищевые цепи, где ТМ участвуют во всех почвенных биохимических процессах накопления, трансформации, переноса веществ и энергии. В почвах нормирование загрязненности почв основано на концепции ПДК и на токсикологическом подходе. Однако количество ТМ в почвах зависит от их содержания в подстилающих горных породах, которые в свою очередь определяются наличием в них минералов-носителей и минералов-концентраторов. По современной классификации значимости ТМ для живых организмов элементы определяются на жизненно необходимыме – Cu, Zn; условно необходимыме – Ni и потенциально токсичные – Pb (Ребров, Громова, 2008). Поэтому экологическому контролю должны подлежать как физиологически значимые, так и другие, потенциально токсичные, микроэлементы (Gong et al., 2019).

Большое экологическое значение имеют потенциально токсичные и малоизученные микроэлементы, которые также участвуют в биологическом круговороте – в обмене организмов с окружающей средой (Одум, 1986). Известно, что ТМ в почвах снижают биологическую активность (Yang et al., 2006; Терехова, 2021). Различные виды растений характеризуются избирательной способностью в накоплении ТМ, что обусловлено их биологическими особенностями (Кальницкий, 1987). Накопление ТМ в растительности зависит от количества загрязняющих веществ

и биологических особенностей видов растений (Минкина и др., 2018). Геохимические особенности закрепления и распределения элементов по формам соединений обусловливаются буферной способностью почв, химическими свойствами самих элементов и сопряженностью с источниками техногенной эмиссии (Минкина и др., 2016). Низкая биологическая продуктивность степных фитоценозов вовлекает микроэлементы в биогенную миграцию надземной фитомассы на 1-2 порядка меньше в сравнении со средним захватом их годовым приростом растительности суши (Кашин, Убугунов, 2020).

В почвах, как первым, так и завершающим звеном в круговороте химических элементов является гумус, который не только аккумулирует энергию и вещества, но и, разлагаясь, высвобождает новые синтезированные органические соединения для питания микроорганизмов и растений. Поведение металлов в почвах (закрепление, перераспределение, высвобождение) является одной из основных актуальных задач при изучении их трансформации из породы в почву, растения и гумусовые вещества. Содержание микроэлементов в растениях и их взаимосвязей с почвенным гумусом как важный фактор функционирования степных экосистем изучен весьма слабо. Отсюда целью работы являлось определить степень накопления Cu, Zn, Ni, Pb в цепи: почвообразующая порода → почвы → растительность (надземная масса, корневая часть) → гумусовые вещества (гуминовые кислоты, фульвокислоты, негидролизуемый остаток гумуса (НО).

Материалы и методы

Объектами исследований послужили каштановые (Kastanozems) почвы (Классификация …, 2004), которые являясь самыми восточными на территории России, располагаясь в котловинах между гор, занимают предгорно-теневую и центральную наиболее прогреваемую и континентальную части днищ. Следует отметить, что эти почвы подвергаются дефляционным процессам. В настоящее время это негативное явление усугубляется глобальным изменением климата, усиливающим темпы аридизации.

Почвообразующие породы в межгорных котловинах и у горных кряжей, обусловленные сложным происхождением представляют большую пестроту четвертичных отложений в виде легких суглинков, супесей и песков различного генезиса.

Дефицит влаги в каштановых почвах является основным фактором, лимитирующим биологическую активность, трансформацию органического вещества и, в конечном итоге, урожай сельскохозяйственных культур. Растительный покров забайкальских степей имеет своеобразную ксерофильность, что видно по широкому распространению растений-подушек, растений-куртинок, проникновению арктоальпийских видов (астра альпийская, эдельвейс сибирский и др.), наряду с сохранившимися доледниковыми реликтами (бересклет священный, ильм низкий и др.). Эдификаторами сухой степи являются полыни (*Artemisia frigida*[1], *Artemisia gmelinii* и др.), тонконог стройный (*Koeleria cristata*), типчак ленский (*Festuca cristatum*), осока твердоватая (*Carex duriuscula*) и др. Таким образом, под сухостепной растительностью в условиях резко континентального климата под влиянием длительной сезонной мерзлоты и ограниченного количества осадков (180-250 мм/год) формируются каштановые почвы легкого гранулометрического состава. Они характеризуются в регионе наибольшей суммой температур вегетационного периода (1700-1800°С) и наибольшей длиной безморозного периода (106-116 дней), отсюда их считают самыми теплообеспеченными почвами в регионе. Экстрааридность климата способствует формированию здесь ксерофитной растительности, характеризующейся низкорослостью, разреженностью травостоев (проективное покрытие различных сообществ варьирует от 25% до 60%) и низкой биологической продуктивностью. Надземная масса определена методом укоса без разделения растений на виды. Корни учтены методом почвенных монолитов 25 х 25 см на глубине 0-20 см. Органический углерод почв и растений определен на автоматизированном элементном анализаторе CNHS/O Perkin Elmer в лаборатории биохимии почв ИОЭБ СО РАН. Для экстракции гумусовых веществ (ГВ) использовали метод Гримме (Степанова, 1976). Навески почв, не содержащие растительных остатков, подвергали многократной обработке смесью 0.5н NaOH с 0.01 М ЭДТА[2] до обесцвечивания раствора над почвой

[1] Латинские названия растений приводятся по работе С.К. Черепанова (1995).

[2] ЭДТА – этилендиаминтетрауксусная кислота.

после центрифугирования. После того, как извлечение ГВ смесью NaOH и ЭДТА прекращалось, навеску почвы обрабатывали сначала 0.01н. HCl, затем $H_2O_{дист.}$ до получения бесцветного раствора. Экстракты объединяли и доводили до определенного объема. Две трети объема раствора брали для осаждения ГК, которое проводили в течение 24 ч при pH = 1.5-2 и температуре 80°С. После центрифугирования и промывания осадок гуминовых кислот (ГК) растворяли с помощью 0.02н. NaOH. Фильтрат после осаждения ГК, отнесли к группе фульвокислот (ФК). В 200 мл вытяжки по Гримме и отдельно в 100 мл ГК и ФК после выпаривания на водяной бане и озоления осадков смесью H_2SO_4 и $HClO_4$, растворения в горячей воде и доведения объема до 100 мл, определяли микроэлементы. В негидролизуемом остатке количество микроэлементов определяли по разнице между их содержанием в гумусовых веществах и суммой элементов в ГК и ФК. Определение содержания микроэлементов проводили в зольном остатке после деструкции органической основы растительных проб в муфеле с постепенным подъемом температуры до 480°С в сертифицированном на техническую компетентность Аналитическом центре Республики Бурятия: Cu, Zn, Ni, Pb – атомно-абсорбционным методом с прямой электротермической атомизацией проб. ТМ определялись на атомно – абсорбционном спектрофотометре – AAS-15 Perkin Elmer (ИОЭБ СО РАН). В почвах определяли валовое содержание микроэлементов, поскольку в почвенно-геохимических исследованиях основная доля информации получается в основном за счет их валовых содержаний. Сбор полевых материалов производили в фазу цветения растений доминантов на пробных площадках 100 х 100 м в соответствии с методическими рекомендациями, основанными на принципах изучения биологического круговорота (Базилевич, 1993). Большой интерес представляет микроэлементный состав не отдельных видов растений, а суммарных фитоценозов с определенной площади. Поэтому для учета продуктивности надземной массы, содержания и выноса ею микроэлементов срезали растения на уровне 1.5-2 см от поверхности почвы с площади 1 $м^2$ в 4-5-кратной повторности. Одновременно с взятием проб растительности отбирали пробы почв в полиэтиленовые пакеты из корнеобитаемого слоя (0-20 см).

О взаимосвязи элементов в системе «растение – почва» судили по величине коэффициента биологического поглощения (КБП; Добровольский, 2003) – отношения содержания элементов в золе растений к их валовому содержанию в почве. КБП отражает потенциальную биогеохимическую подвижность элементов в почве. Статистическая обработка результатов проведена стандартными методами с использованием программы Microsoft Excel. Парные коэффициенты корреляции рассчитаны между содержаниями микроэлементов: 1) в породе – почве; 2) в почве–растительности (надземная и корневая массы); 3) в почве – гумусовых веществах (гуминовых кислотах, фульвокислотах и негидролизуемом остатке), результаты которых показали прямую значимую связь для всех элементов.

Результаты и обсуждение

Основу почвенного покрова сухих степей составляют формирующиеся в жестких условиях увлажнения, типичные маломощные каштановые почвы, с содержанием гумуса – 2.2-2.7% (Чимитдоржиева, 2017), супесчаного или легкосуглинистого гранулометрического состава (содержание физической глины 15-23%) со слабой водоудерживающей способностью и низкой влагоемкостью, с кислотностью почв близкой к нейтральной pH = 6.7-6.8, с низкой суммой поглощенных оснований –17-18 мг-экв. на 100 г почвы (табл. 1). Приводим морфологические описания разрезов, сделанных в разных котловинах, из которых дана аналитическая характеристика почв и определены содержания ТМ со статистической обработкой.

Разрез 4бч. Республика Бурятия, Удинская котловина, 51° 43′ 60″ с.ш., 108° 20′ 40″ в.д., высота 739 м н.у.м., с. Ацагат. Растительность: змеевка растопыренная (*Cleistogenes squarrosa*), житняк гребенчатый (*Agropyron cristatum*), мятлик кистевидный (*Poa botryoides*), лапчатка бесстебельная (*Potentilla acaulis*), остролодочник остролистный (*Oxytropis oxyphylla*), лук полевой (*Allium odorum*), осока твердоватая (*Carex duriuscula*), полынь холодная (*Artemisia frigida*) и карагана алтайская (*Caragana pygmaea*). Проективное покрытие 40-50%.

Почвенные горизонты.

А 0-21 см. Буровато-желтая супесь, непрочнокомковатая, сухая, плотная, обильно пронизана корнями, каменистая, переход в нижележащий горизонт неравномерный, неясный по цвету.

В1 21-36 см. Буровато-коричневая супесь, непрочнокомковатая, сухая, пронизана мелкими

корнями, встречаются вкрапления карбонатов, каменистый переход к нижнему горизонту по вскипанию от HC1.

Вк 36-52 см. Буровато-желтая супесь, непрочнокомковатая, каменистая, присутствуют карбонаты в виде белесых пятен, бурно вскипает от HCl, сухая, нижняя сторона структурных отдельностей покрыта белесой карбонатной пропиткой, снизу горизонта крупные рыхлые включения сизо-зеленого цвета.

Ск 52-75 см. Буровато-коричневая супесь, бесструктурная, карбонатные пятна бурно вскипают от HC1, сухая, горизонт подстилают крупные камни скальных пород.

Почвообразующая порода: элювиальные супеси (Четвертичная система, верхнечетвертичные отложения).

Таблица 1. Характеристика каштановых почв.

Место закладки почвенных разрезов	Горизонт, глубина, см	Гумус	Азот общий	$pH_{водн.}$	Сумма обменных оснований, мг-моль/экв. на 100 г почвы	Содержание частиц (%) размером < 0.01 мм
		%				
Разрез 4бч Удинская котловина, с. Ацагат	А 0-21	2.6	0.2	6.4	19.1	27.3
	АВ 21-36	1.4	0.1	6.7	18.4	25.9
	Вк 36-82	0.2	–	7.3	17.5*	27.8
	Ск 82-150	–	–	8.3	16.0*	21.7
Разрез 5бч, Иволгинская котловина, с. Тапхар	А 0-21	2.1	0.1	6.8	17.1	22.3
	АВ 21-46	1.1	0.06	7.1	15.9	15.4
	Вк 46-106	0.1	–	8.3	12.0*	15.2
	Ск 106 -150	–	–	8.4	12.0*	15.5
Разрез 6бч, Тугнуйская котловина, с. Мухоршибирь	А1 0-26	2.2	0.2	6.7	18.5	27.5
	АВ 26-44	1.3	0.1	6.9	17.2	21.7
	В 44-70	0.7	–	7.2	13.9	19.3
	Вк 70-88	0.2	–	8.0	16.0*	15.5
	Ск 88-150	0.1	–	8.4	14.0*	15.3

Примечание к таблице. 17.5* – емкость поглощения.

Разрез 5бч. Республика Бурятия, Иволгинская падь, п. Тапхар, 51° 43′ 60″ с.ш., 107° 22′ 00″ в.д., высота 815 м н.у.м.

Растительность: ковыль Крылова (*Stipa krylovii*), люцерна серповидная (*Medicago falcato*), житняк гребенчатый (*Agropyron cristatum*), лапчатка бесстебельная (*Potentilla acaulis*), гетеропаппус алтайский (*Heteropappus altaicus*), тонконог гребенчатый (*Koeleria cristatum*), осока твердоватая (*Carex duriuscula*), вероника седая (*Veronica incana*), полынь холодная (*Artemisia frigida*). Проективное покрытие 40-50%.

Почвенные горизонты.

А 0-21 см. Светло-серая супесь, непрочнокомковатая, плотная, обильно пронизана корнями, сухая, переход в нижележащий горизонт неравномерный по цвету.

В1 21-46 см. Буровато-желтая супесь, бесструктурная, плотная, сухая, встречаются единичные корни. Переход в следующий горизонт по линии вскипания.

Вк 46-106 см. Буровато-желтая супесь, бесструктурная, сухая, плотная, встречаются белесые карбонатные пятна, вскипающие от HC1, присутствуют единичные корни, переход в горизонт С по интенсивности вскипания постепенный.

Ск 106-148 см. Буровато-желтая супесь, бесструктурная, сухая, плотная, встречаются белесые карбонатные пятна, вскипает менее интенсивно, чем вышележащий горизонт.

Почвообразующая порода: пролювиальные песчаные отложения (четвертичная система, нижне- и среднечетвертичные отложения).

Разрез 6бч. Республика Бурятия, Тугнуйская котловина, 51° 10′ 890″ с.ш., 108° 02′ 210″ в.д.,

высота 758.3 м н.у.м.

Растительность: ковыль Крылова (*Stipa krylovii*), житняк гребенчатый (*Agropyron cristatum*), лапчатка бесстебельная (*Potentilla acaulis*), марь остистая (*Chenopodium cristatum*), гетеропаппус алтайский (*Heteropappus altaicus*), тонконог гребенчатый (*Koeleria cristama*), змеевка растопыренная (*Cleistogenes squarrosa*), осока твердоватая (*Carex duriuscula*), вероника седая (*Veronica incana*), полынь холодная (*Artemisia frigida*). Проективное покрытие 40-50%.

Почвенные горизонты.

А1 0-26 см. Буровато-коричневатый (каштановый) легкий суглинок, непрочнокомковатый, уплотнен, обильно пронизан корнями растений, от HCl не вскипает, переход выделяется по цвету неравномерный.

АВ 26-34 см. Светло-коричневато-буроватый легкий суглинок, непрочнокомковатый, уплотнен, имеются включения корней, не вскипает от HC1, переход по цвету, плотности и структуре.

В 34-60 см. Бурая супесь, бесструктурная, средней плотности, имеются включения корней, не вскипает от HCl, переход в следующий горизонт по линии вскипания.

Вк 60-78 см. Буровато-белесоватая супесь, бесструктурная, уплотнена, встречаются единичные включения корней, бурно вскипает от HCl, переход в следующий горизонт по цвету и плотности.

Ск 78-150 см. Белесая супесь, бесструктурная, уплотнена, встречаются единичные включения корней, бурно вскипает от HC1.

Почвообразующая порода: пролювиально-делювиальные отложения (юрская система, тугнуйская свита, средний отдел).

В почвообразующих породах меди, цинка и никеля содержатся в количествах, меньших их Кларка (20, 50 и 40 мг/кг соответственно), что объясняется тем, что они состоят главным образом из кварца (70-75%), характеризующегося наименьшей концентрацией рассеянных элементов. Тогда как количество свинца гораздо выше кларка (10 мг/кг; табл. 2), так как породы обогащены этим металлом.

ТМ в почвах. Известно, что унаследованный почвами от породы количественный состав МЭ претерпевает значительные изменения под совокупным воздействием всех факторов почвообразования (Мотузова, 2003). Трансформация меди из пород в органогенные горизонты почв значительна (табл. 2), где и связь высока (r = 0.9), однако она ниже значений ПДК (55 мг/кг).

Халькофильный цинк как важный элемент клеток, участвует в биохимических процессах, в избыточном количестве выступает как токсичный элемент и относится к 1 классу опасности. Для цинка характерно осаждение в виде сульфидов и в комплексе с органическими веществами, содержащими O и N группами. В каштановых почвах вследствие обедненности пород цинком, его содержание ниже ПДК (100 мг/кг). Установлена тесная корреляционная связь в почвах с гранулометрическим составом и количеством элемента в породе r = 0.9.

Тесна связь никеля в почве и породе, r = 0.8. Ка (коэффициент аккумуляции) Ni составил 1.1-1.7 в каштановых почвах, что свидетельствует о биогенном его накоплении, по шкале он относится к условно необходимому элементу для растений.

Почвообразующие породы обогащены свинцом – 22.9, и отмечена зависимость его количества в почвах от их гранулометрического состава r = 0.54. Свинец – высокотоксичный элемент, относящийся к 1 классу опасности. Он быстро связывается почвенными частицами, преимущественно органическими (Водяницкий, 2017). Несмотря на то что в почвенном органическом веществе много карбоксильных групп, свинец хелатируется функциональными группами ароматических колец, формируя бидентантные комплексы (Мотузова, 2003; Manceau et al., 1996; Manceau et al., 2002). Известно также, что изучаемые все 4 элемента образуют внутрисферные комплексы с органическими соединениями (Xia et al., 1997а, 1997б).

Значительная часть Cu в каштановых почвах связана с их минеральной частью, а Zn в них равномерно распределен в гумусовых веществах и минеральной основе. Уровень концентрации Pb в минеральной части почв значителен – 61-65%. Это объясняется тем, что Pb является металлом с переменной валентностью (+2 и +3), которая позволяет ему более активно вести себя в минеральной среде. Итак, в каштановых почвах свинец, как медь и никель в большей степени связан с минеральной частью почв в отличие от цинка.

Микроэлементы в растительности. Являясь важной составной частью живого вещества, растительность участвует в процессах миграции и превращениях химических элементов на поверхности Земли. Биопродуктивность пастбищ на каштановых почвах Западного Забайкалья низкая, с широким диапазоном отношения надземной фитомассы к подземной. А из почв в растения трансформируются элементы в разных количествах, но одинаково мало в надземную массу целинного разнотравья вследствие наличия барьерности. Коэффициент корреляции между содержанием меди в органогенном слое почв и количеством ее в надземной массе травяной растительности в каштановых почвах – 0.82. В корневой массе медь накапливается более интенсивно и находится в зависимости от содержания ее в почвах.

Цинк в растениях найден в количестве 37 мг/кг, однако он почти равномерно распределен по надземной и корневой массам (табл. 2), что ниже значений ПДК (100 мг/кг).

Никель, наряду с Cu и Zn, выступает как элемент, необходимый растительному организму, который в надземной массе трав сухих степей составляет 0.29-0.42 мг/кг. Содержание Ni в растениях коррелирует с его количеством в почве (r = 0.96), также тесна связь между содержанием Ni в почве и в золе растений (r = 0.93). В корнях Ni накапливается более интенсивно и находится в прямой связи с его содержанием в почве, r = 0.95, в золе корней – r = 0.97. Количество Ni в фитоценозах ниже средней концентрации в растительности континентов – 2.0 мг/кг (Добровольский, 2003) и максимально допустимого (3 мг/кг) по СанПин (Гигиенические …, 1997). Содержание его можно оценить как дефицитное – менее 2 мг/кг (Kabata-Pendias, 2011). КБП никеля находится в пределах 0.3-0.4 в разнотравье сухих степей, в корнях – 0.6-0.9 соответственно, т.е. он является элементом среднего захвата.

Количество Pb в надземной массе трав – 0.5-0.7 мг/кг, что ниже средней концентрации в растительности континентов – 1.25 мг/кг (Добровольский, 2003) и находится в пределах нормальных концентраций – 0.1-5.0 мг/кг (Минеев, 1988). Таким образом, Pb, несмотря на его значительное содержание в органогенном слое почв, вследствие низкого его биологического поглощения, не накапливается в растениях. Корреляция между количеством Pb в почвах и в надземной фитомассе средняя (r = 0.57). Поступление ограниченного количества свинца в надземную часть объясняется избирательной способностью растений и токсичностью металла.

Итак, по степени биологического поглощения из почвы растительностью Zn и Cu относятся к группе с высокой, а Ni, Pb – с низкой интенсивностью, несмотря на это выявлен дефицит первых элементов в растительности сухих степей.

Таблица 2. Тяжелые металлы в породе, почве, растительности и гумусовых веществах сухих степей Забайкалья.

Почво-образующая порода	Почвен-ный слой 0-20 см	Растительность		Гумусовые вещества			
		Корни	Надземная часть	Всего	ГК	ФК	НО
Медь, мг/кг							
10.5±1.28	13.2±4.02	7.03±2.49	2.77±1.14	4.83±1.55	1.43±0.66	2.1±0.53	1.3±0.44
Цинк, мг/кг							
31.3±5.93	52.3±4.35	19.77±1.64	17.20±0.56	24.8±1.23	6.33±0.69	7.63±0.18	10.87±1.80
Никель, мг/кг							
18.3±4.06	24.87±3.67	1.67±0.15	0.3±0.04	10.10±1.55	3.10±0.46	3.63±0.41	3.53±0.76
Свинец, мг/кг							
22.87±4.36	32.1±0.90	1.67±0.11	0.6±0.07	10.93±0.58	3.27±0.22	4.6±0.28	3.40±0.12

МЭ в гумусовых веществах. При деструкции растений под влиянием микробиоценоза в почвах образуются гумусовые вещества, которые при взаимодействии с почвенными минеральными веществами составляют разные соединения и группы ГК, ФК и НО углерода. ГВ химически очень активны вследствие содержания карбоксильных, карбонильных, амидных, метильных, кетонных и

т.д. групп, в силу которых захватываются ТМ. Проанализирована степень захвата меди, цинка, никеля и свинца из почвы в целом ГВ, а также отдельными группами: ГК, ФК и НО. Заметна та же зависимость содержания анализируемых металлов в гумусе, следуя закономерности содержания как в породе → почвах→ растительности. Больший процент связи с ГВ на каштановых почвах обнаружен у цинка – 47.4%, чуть меньше у никеля – 40.6%, свинца – 36% и меньше остальных элементов меди – 34.6%. Поскольку растительность содержит небольшое количество меди, то и в ГВ ее мало. Из собственно ГВ более активны ФК, которые связывают из почвы: цинк до 17%, свинец до 18%, никель до 19%. Таким образом, цинк, свинец и никель активно захватывается ГК. Вследствие большей емкости поглощения молекул гуминовых кислот происходит лучшее связывание с ними цинка, в результате чего образуются, по-видимому, труднорастворимые гуматы Zn (Веригина, Журавлева, 1962).

Из ТМ медь в небольшой степени реагирует с отдельными гумусовыми веществами. Однако цинк, находится в сравнительно большем количестве – 52.3 мг/кг (табл. 2) в гумусовом горизонте почвы, по сравнению с остальными изучаемыми элементами. Соответственно его значительно больше и в растительности –70.6 мг/кг и в гумусовых веществах в целом – 24.8 мг/кг, также как и по группам: в ГК – 6.33 мг/кг, в ФК– 7.63 мг/кг, в НО – 10.87 мг/кг. Из изучаемых элементов более активным оказался цинк, возможно, это связано со сходством химических свойств Zn и Ca, поскольку в почвенно-поглощающем комплексе каштановых почв последнего мало.

Таким образом, выявлена прямая очень тесная корреляционная связь r = 0.71-0.99 между переходом микроэлементов из почвообразующей породы в органогенные слои почв, далее в растительность и гумусовые вещества.

Почвенные ГВ способны образовывать комплексы с ионами свинца. При этом поглощение Pb полностью или частично происходит за счет вытеснения других ионов. В свою очередь, связанный с ГВ металл может быть полностью или частично вытеснен по механизму ионного обмена. Свинец обнаружен в гумусе в основном в составе ФК, поскольку они обладают большей дисперсностью и значительным количеством функциональных групп, чем ГК.

Способность к комплексообразованию у ФК выше, чем у ГК, достигая 43-63%, в НО – 26-27% и на ГК приходится всего 11-30% от его общего количества в гумусе.

Поступление микроэлементов в целинный травостой находится в большей зависимости от их содержания в породах и почвах, свойств химических элементов, от их биофильности и избирательных механизмов фитоценоза, от барьерных способностей корней. В растительности накапливаются преимущественно биофильные элементы: медь – до 53.2%, цинк – до 37.7% из количества, содержащегося в почвах, меньше всего – условно биофильный никель (1.2%) и токсичный свинец (1.9%) от количества, содержащегося в почве.

Изучаемые почвы сухих степей Забайкалья обеднены медью вследствие невысокого их количества в подстилающих почвообразующих породах легкого гранулометрического состава, отсюда ее мало в растительности. Цинка в породах выше кларка, но меньше ПДК, однако его больше накапливается в растительности и отсюда – в гумусовых веществах, где проявляется его биофильность и аналогия с кальцием, когда ощущается в почве его недостаток. Он активен в связи с гумусовыми веществами, в отличие от меди. Такая же реакционная активность наблюдается в захвате гумусовыми веществами никеля и свинца, где, по-видимому, сказываются химические свойства этих элементов, как способность к ионному обмену, комплексообразованию и т.д. Отсюда следует, что содержания изучаемых элементов в почвах находятся в связи с их количеством в породах, КБП растений, а также с захватом их гумусовыми веществами. В связи с особенностями химической структуры молекулы ГК (незначительная степень бензоидности, развитая боковая углеродная цепь с низкими кислыми функциональными группами; Чимитдоржиева, Цыбикова, 2018) не обеспечиваются высокими адсорбционными способностями почвы, вследствие чего изучаемые микроэлементы в незначительной степени связаны с гумусовыми веществами.

Каштановые почвы степных экосистем Западного Забайкалья характеризуются в сравнении с кларками нормальным содержанием Zn, повышенным – Pb (в 2.9 раза), пониженным – Ni (в 1.49 раза) и Cu (в 1.2 раза), что определяется преобладанием в качестве коренных пород гранитоидов – пород кислой группы.

Выводы

1. Подстилающие почвообразующие породы легкого гранулометрического состава, обеднены Cu, Zn, Ni и обогащены Pb, количество которого превышает кларк литосферы.

2. Содержание микроэлементов в органогенном горизонте каштановых почв низкое, кроме свинца (выше ПДК). Металлы в основном связаны с минеральной частью: Cu – 56-66%, Ni – 51-61%, Pb – 61-66% от их валового количества, а Zn почти равномерно распределен в гумусовых веществах и минеральной основе (43-60%).

3. Каштановые почвы степных экосистем Западного Забайкалья характеризуются в сравнении с кларками нормальным содержанием Zn, повышенным – Pb в 2.9, пониженным – Ni в 1.4, Cu в 1.2 раза, что определяется преобладанием в качестве коренных пород гранитоидов – пород кислой группы.

4. Выявлено, что Zn оказался элементом наибольшего биологического поглощения растительностью в сухих степях Западного Забайкалья.

5. Гумусовые вещества почв связывают незначительное количество микроэлементов, которое зависит от содержания гумуса, от его группового и фракционного составов и химических свойств каждого элемента.

6. В гумусовых веществах микроэлементы (Cu, Ni, Pb) преимущественно связываются ФК, тогда как цинк адсорбирован в первую очередь ГК и гуминами.

7. Гумусовые вещества почв различаются по интенсивности захвата микроэлементов в следующем убывающем порядке: Cu и Pb – ФК →ГК →НО; Ni – ФК → НО→ ГК; Zn – НО → ГК → ФК.

Финансирование. Работа выполнена по теме Госзадания № 121030100228-4 «Эволюционно-генетические, биогеохимические и продукционные функции почв Байкальского региона как компонента биосферы, оценка их ресурсного потенциала и разработка технологий рационального использования и охраны» 2021-2022.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Базилевич Н.И. 1993. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. М.: Наука. 293 с.

Веригина К.В., Журавлева Е.Г. 1962. Микроэлементы в почвах и породах Ярославской области. М.: Изд-во АН СССР. С. 51-85.

Водяницкий Ю.Н. 2017. Загрязнение почв тяжелыми металлами и металлоидами. М.: Изд МГУ. 192 с.

Добровольский В.В. 2003. Основы биогеохимии. М.: Академия. 400 с.

Кальницкий Б.Д. 1987. Минеральные вещества в кормлении животных. Л.: Наука. 260 с.

Кашин В.К., Убугунов Л.Л. 2020. Микроэлементный состав почв и степных фитоценозов Западного Забайкалья // Аридные экосистемы. Т. 26. № 2 (83). С. 86-95. [*Kashin V.K., Ubugunov L.L.* 2020. Microelementary Composition of Soils and Steppe Phytocoenoses in the Western Transbaikal Region // Arid Ecosystems. Vol. 10. No. 2. P. 161-170.]

Классификация и диагностика почв России. 2004 / Ред. Л.Л. Шишов. М. Смоленск: Ойкумена. 342 с.

Минеев В.Г. 1988. Экологические проблемы агрохимии. М.: Изд-во МГУ. 285 с.

Минкина Т.М., Манджиева С.С., Чаплыгин В.А., Назаренко О.Г., Максимов А.Ю., Замулина И.В., Бурачевская М.В., Сушкова С.Н. 2018. Аккумуляция тяжелых металлов разнотравной степной растительностью по данным многолетнего мониторинга // Аридные экосистемы. Т. 24. № 3 (76). С. 43-55. [*Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Chaplygin V.A., Nazarenko O.G., Maksimov A.Yu., Zamulina I.V., Burachevskaya M.V., Sushkova S.N.* 2018. Accumulation of Heavy Metals by Forb Steppe Vegetation According to Long-Term Monitoring Data // Arid Ecosystems. Vol. 8. No. 3. P. 190-202.]

Минкина Т.М., Федоров Ю.А., Невидомская Д.Г., Манджиева С.С., Козлова М.Н. 2016. Особенности содержания и подвижность тяжелых металлов в почвах поймы реки Дон // Аридные экосистемы. Т. 22. № 1 (66). С. 86-98. [*Minkina T.M., Fedorov Yu.A., Nevidomskaya D.G., Mandzhieva S.S., Kozlova M.N.* 2016. Specific Features of Content and Mobility of Heavy Metals in Soils of Floodplain of the Don River // Arid Ecosystems. Vol. 6. No. 1. P. 70-79.]

Мотузова Г.В. 2003. Соединения микроэлементов в почвах: системная организация, экологическое значение, мониторинг. М. 168 с.

Одум Ю. 1986. Экология. Т. 1. М.: Мир. 328 с.

Ребров В.Г., Громова О.А. 2008. Витамины, макро- и микроэлементы. М.: ГЭОТАР Медиа. 960 с.

Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения. 1997. *Санитарные правила и нормы* СанПиН 2.1.7.573-96. М.: Информационно-издательский центр Минздрава России. 54 с.

Степанова М.Д. 1976. Микроэлементы в органическом веществе почв. Новосибирск: Наука. 106 с.

Терехова В.А., Прудникова Е.В., Кулачкова С.А., Горленко М.В., Учанов П.В., Сушко С.В., Ананьева Н.Д. 2021. Микробиологические показатели агродерново-подзолистых почв разной гумусированности при внесении тяжелых металлов и углеродсодержащих препаратов // Почвоведение. № 3. С. 372-384. [*Terekhova V.A., Prudnikova E.V., Kulachkova S.A., Gorlenko M.V., Uchanov P.V., Sushko S.V., Ananyeva N.D.* 2021. Microbiological Indicators of Heavy Metals and Carbon-Containing Preparations Applied to Agrosoddy-Podzolic Soils Differing in Humus Content // Eurasian Soil Science. Vol. 54. No. 3. P. 448-458.]

Черепанов С.К. 1995. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). Спб.: Мир и семья. 992 с.

Чимитдоржиева Э.О. 2017. Запасы углерода в постагрогенных сухостепных почвах Западного Забайкалья // Аридные экосистемы. Т. 23. № 3 (72). С. 59-65. [*Chimitdorzhieva E.O.* 2017. Carbon reserves in postagrogenic dry steppe soils of Western Transbaikalia // Arid Ecosystems. Vol. 7. No. 3. P. 178-183.]

Чимитдоржиева Г.Д., Цыбикова Э.В. 2018. Своеобразие каштановых почв южных котловин Сибири // Аридные экосистемы. Т. 24. № 4 (77). С. 29-35. [*Chimitdorzhieva G.D., Tsybikova E.V.* 2018. Specific Features of Chestnut Soils in the Southern Basins of Siberia // Arid Ecosystems. Vol. 8. No. 4. P. 254-259.]

Gong Q., ChenP., ShiR., GaoY., Zheng S.A., Xu Y., Shao C., Zheng X. 2019. Health Assessment of Trace Metal Concentrations in Organic Fertilizer in Northern China // International Journal of Environmental Research and Public Health. Vol. 16. No. 6. P. 1031.

Kabata-Pendias A. 2011. Trace elements in soil and plants. Boca Raton, London, N.Y.: CRC Press. 450 p.

Manceau A., Boisset M.C., Sarret G., Hazemann J.L., Mench M., Cambier P., Prost R. 1996. Direct determination of lead speciation in contaminated soils by EXAFS spectroscopy // Environmental Science & Technology. Vol. 30. P. 1540-1552.

Manceau A., Marcus M.A., Tamura N. 2002. Quantative speciation of heavy metals in soils and sediments by synchrotron X-ray techniques // Applications of Synchrotron Radiation in Low-Temperature Geochemistry and Enviromental Science. Reviews in Mineralogy and Geochemistry. Washington, DC. Vol. 49. P. 341-428.

Xia K., Bleam W., Helmke P.A. 1997a. Studies of the nature of Cu2+ and Pb2+ binding sites in soil humic substances using X-ray absorption spectroscopy // Geochimica et Cosmochimica Acta. Vol. 61. P. 2211-2221.

Xia K., Bleam W., Helmke P.A. 1997b. Studies of the nature of binding of first row transition elements bound to aquatic and soil humic substances using X-ray absorption spectroscopy // Geochimica et Cosmochimica Acta. Vol. 61. P. 2223-2235.

Yang Z., Liu S., Zheng D., Feng S. 2006. Effects of cadmium, zinc and lead on soil enzyme activities // Journal of Environmental Sciences. Vol. 18. No. 6. P. 1135-1141.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2022, том 28, № 2 (91), с. 71-77

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 574.2

ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА ($^{15}N/^{14}N$ И $^{13}C/^{12}C$) ТКАНЕЙ И ОРГАНОВ СРЕДИЗЕМНОМОРСКИХ ВИДОВ ПОЧВЕННЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ

© 2022 г. Д.И. Коробушкин, К.Б. Гонгальский

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН
Россия, 119071, г. Москва, Ленинский просп., д. 33. E-mail: dkorobushkin@yandex.ru

Поступила в редакцию 18.10.2021. После доработки 23.11.2021. Принята к публикации 11.01.2022.

Для исследования трофических связей в почвенных экосистемах в последние десятилетия широко применяются изотопные методы – изотопная подпись гетеротрофных организмов отражает изотопный состав их пищевых объектов. Для данного направления экологических исследований наиболее часто применяется анализ изотопного состава углерода ($\delta^{13}C$) и азота ($\delta^{15}N$) биологических объектов. Однако корректное использование метода для реконструкции детритных пищевых сетей часто затрудняется индивидуальной (в пределах организма) вариабельностью изотопного состава углерода и азота между тканями и органами многих групп почвенных беспозвоночных. Целью настоящего исследования стало сравнение индивидуальной изменчивости изотопного состава различных быстроизвлекаемых тканей и органов массовых средиземноморских видов мокриц (Isopoda, Armadillidae, *Armadillo officinalis* и Armadillidiidae, *Armadillidium vulgare*) и кольчатой сколопендры (Chilopoda, Scolopendromorpha, *Scolopendra cingulata*).

Почвенных беспозвоночных собирали на территории Государственный природный заповедник «Утриш» (Краснодарский край). Для изотопного анализа были использованы: экзоскелет, мышцы, стенки кишечника, жировое тело (только у сколопендр), половая система, ноги, гомогенизированный целиком организм. Оценку изотопного состава $\delta^{13}C$ и $\delta^{15}N$ проводили на комплексе оборудования, состоящего из элементного анализатора и изотопного масс-спектрометра.

Различия изотопного состава углерода между тканями мокриц достигали 5-6‰ за счет включения неорганических карбонатов в экзоскелет. Значимой разницы изотопного состава между тканями кольчатой сколопендры не выявлено. Для корректного отображения трофической позиции крупных видов мокриц с помощью изотопного анализа наиболее предпочтительно использовать мышечные ткани; использование конечностей возможно лишь после предварительной оценки содержания карбонатов в покровных тканях вида; следует исключить гомогенизацию крупных видов, а также попадание фрагментов экзоскелета и остатков пищи в анализируемый образец. У сколопендр возможно использовать, помимо мышц, как гомогенезированные образцы целого животного, так и отдельные части тела и органы, исключая содержимое желудка. Полученные результаты применимы для оптимизации почвенно-зоологических исследований с применением изотопного анализа тканей беспозвоночных животных.

Ключевые слова: макрофауна, мокрицы, многоножки, стабильные изотопы, заповедник «Утриш», детритные пищевые сети.

DOI: 10.24412/1993-3916-2022-2-71-77

Реконструкция детритных пищевых сетей с помощью изотопного анализа широко применяется как в исследовании водных, так и наземных экосистем (Peterson, Fry, 1987; Layman et al., 2011; Potapov et al., 2019). Данный метод основан на естественном изменении соотношения тяжелых и легких изотопов (фракционирование) основных биогенных элементов, в том числе углерода ($^{13}C/^{12}C$, обычно выражается как $\delta^{13}C$) и азота (^{15}N /^{14}N, выражается как $\delta^{15}N$) в ряде физиологических и экологических процессов. Изотопная подпись животного отражает интегрированную во времени информацию о его трофической позиции, о трофических связях с другими членами сообщества, и о базовых источниках энергии (углерода) (Martinez del Rio et al., 2009; Ben-David, Flaherty, 2012).

Стабильные изотопы углерода слабо фракционируются в трофических цепях, то есть величина $\delta^{13}C$ почти не меняется с трофическим уровнем, что позволяет использовать значения $\delta^{13}C$ для определения основных источников углерода (базового ресурса) в трофической сети (Post, 2002; Тиунов, 2007). В свою очередь изотопы азота, наоборот, сильно фракционируются в трофических цепях: содержание ^{15}N в тканях организмов по сравнению с потребляемыми ими ресурсами увеличивается, что позволяет устанавливать позицию организма и его возможные пищевые ресурсы в трофических цепях (Martinez del Rio et al., 2009; Ben-David, Flaherty, 2012).

Таким образом, исследование изотопного состава организмов является мощным инструментом для решения широкого круга вопросов трофической экологии (Newsome et al., 2012) и, в частности, экологии почв (Тиунов, 2007; Potapov et al., 2019). Ограничением метода является то, что $\delta^{13}C$ и $\delta^{15}N$ разных тканей и функциональных систем организма обновляются с разной скоростью (Schmidt et al., 1999; Gratton, Forbes, 2006; Phillips, Eldridge, 2006). Если изотопный состав небольших животных (например, коллембол, панцирных клещей, кладоцер) может быть измерен в целом организме (Klarner et al., 2013; Schilder et al., 2015), то использование всего организма крупных животных (большинство представителей почвенной макрофауны) без дополнительной гомогенизации или выбора репрезентативной ткани или органа невозможно и вызывает ряд методических вопросов. Изотопный состав различных органических соединений, входящих в состав тканей животных, неодинаков, потому что они существенно различаются по массовому содержанию белков, липидов и могут содержать биологически инертные ткани (например, бикарбонаты и хитин у беспозвоночных; Shipley, Matich, 2020). Значительная разница $\delta^{13}C$ и $\delta^{15}N$ в пределах одного организма была показана для ряда наземных животных: например, двупарноногих многоножек (Семенюк, Тиунов, 2011б), прямокрылых (Wehi, Hicks, 2010), тлей (Perkins, 2010), рептилий (Murray, Wolf, 2013), амфибий (Reshetnikov, Korobushkin, 2021), птиц (Hobson, Clark, 1992) и млекопитающих (Lesage et al., 2002; Ehrich et al., 2011). Содержащие карбонаты ткани членистоногих обычно характеризуются высоким содержанием ^{13}C и низким ^{15}N по сравнению с мышечной тканью, а жировые ткани – наоборот, низким содержанием ^{13}C (Kolasiński et al., 2008; Maraun et al., 2011). Если для исследования водных экосистем давно разработана методика пробоподготовки (например, экстракция липидов, удаление карбонатов) и математической коррекции данных, основанные на значительном количестве предварительных исследований (Smyntek et al., 2007; Post et al., 2007; Mateo et al., 2008), то для наземных экосистем вариация изотопного состава тканей в пределах одного организма к настоящему моменту не была исследована для многих доминантных таксонов.

В почвенных сообществах южных регионов с умеренным климатом (юг России, средиземноморье) доминантной группой крупных сапротрофных организмов зачастую выступают мокрицы (Malacostraca, Isopoda, Oniscidea), составляющие до 30% особей макрофауны на квадратный метр лесной почвы (Jeffery et al., 2010; De Smedt et al., 2018). Среди хищных почвенных беспозвоночных в этом регионе высоко видовое разнообразие и численность губоногих многоножек (Chilopoda, Geophilomorpha, Lithobiomorpha, Scolopendromorpha; Gongalsky et al., 2006; Korobushkin et al., 2016). Однако использование этих двух групп для исследования детритных трофических сетей с помощью изотопного анализа весьма затруднительно без предварительного выбора сопоставимой для анализа ткани или органа. Согласно предыдущим исследованиям (Pinnegar, 1999; Martinez del Rio et al., 2009), оптимальной тканью для анализа являются мышцы, однако их извлечение бывает весьма затруднено, например, в силу небольших размеров животных, а сложная пробоподготовка может существенно увеличить время анализа, что критично при работе с большими выборками. Таким образом, для корректной работы с данными таксономическими группами необходима детальная оценка изотопного состава различных органов и тканей с последующим выбором оптимального решения. Целью настоящего исследования является сравнение индивидуальной изменчивости изотопного состава различных быстроизвлекаемых тканей и органов мокриц (на примере *Armadillo officinalis* Dumeril, 1816 и *Armadillidium vulgare* Latreille, 1804) и губоногих многоножек (на примере сколопендр *Scolopendra cingulate* Latreille, 1829).

Материалы и методы

Сбор материала проводили в 2012 г. на территории государственного природного заповедника «Утриш», Краснодарский край (44.7072° с.ш., 37.4754° в.д.). Район исследований расположен в

южной части полуострова Абрау между городами Новороссийск и Анапа. Для территории характерен субсредиземноморский климат, среднегодовое количество осадков составляет 500 мм, средняя температура июля – 25ºС. Мокриц и сколопендр собирали вручную в пределах дубового-грабинникового леса (*Quercus pubescens*[1], *Carpinus orientalis*); сомкнутость крон 0.7, проективное покрытие травяного яруса – 30%.

Собранных животных фиксировали 96% этанолом. Органы и/или ткани беспозвоночных препарировали в лаборатории с помощью микроскопа Leica MZ8 в соответствии с методикой работ по морфологии животных (Залесская, Шилейко, 1991; Schmölzer, 1965). Для изотопного анализа были использованы следующие органы и ткани мокриц: экзоскелет (далее «карапакс»), мышцы, стенки кишечника, половая система (далее «гонады»), ноги, гомогенизированный целиком организм. У сколопендр проанализированы: мышцы, кутикула (тергиты), стенки кишечника, жировое тело, половая система (далее «гонады»), ноги, гомогенизированный целиком экземпляр. В общей сложности препарировано 4 особи *Armadillo officinalis*, 3 особи *Armadillidium vulgare*, 3 особи *Scolopendra cingulata*. Для гомогенизации использовано еще по 3 особи каждого вида. Всего было использовано 19 экземпляров животных, проанализировано 60 образцов тканей и органов.

Анализ стабильных изотопов углерода и азота. Препарированные органы и ткани, целых животных для гомогенизации, почву и опад высушивали в термостате в течение 4-5 дней при температуре 50-52°С, затем при необходимости измельчали при помощи мельницы Retsch MM200. Пробы растительного материала и почвы навешивали на весах Mettler Toledo MX6 по 1000 мкг с точностью до 1 мкг, пробы тканей макрофауны – по 500 мкг. Для измерения соотношения стабильных изотопов использовали комплекс оборудования, состоящий из элементного анализатора Thermo Flash EA 1112 и изотопного масс-спектрометра Thermo Finnigan Delta V Plus, в Центре коллективного пользования «Инструментальные методы в экологии» при ИПЭЭ РАН (г. Москва). Для калибровки оборудования применяли международные стандарты МАГАТЭ USGS40 и USGS41, в качестве лабораторного стандарта использовали казеин. Изотопный состав углерода и азота выражали в тысячных долях отклонения от международного стандарта (δ, ‰):

$$\delta^{n}X(‰) = [(R_{проба}/R_{стандарт}) - 1] \cdot 1000,$$

где X – элемент (C или N), n – это масса более тяжелого изотопа, R – молярное отношение более тяжелого изотопа к более легкому в анализируемом образце ($R_{проба}$) и стандарте ($R_{стандарт}$). Образцы лабораторного стандарта (казеин) анализировали после каждой 10-й пробы, стандарты МАГАТЕ – после каждой 30-й пробы. Аналитическая ошибка определения $\delta^{13}C$ и $\delta^{15}N$ не превышала 0,15‰. Совместно с определением изотопного состава, в каждой пробе было также определено общее содержание углерода и азота (%).

Статистическая обработка. Поскольку изотопный состав углерода и азота отдельных экземпляров животных даже в пределах вида мог существенно варьировать в зависимости от пространственной неоднородности изотопного состава базовых ресурсов, то значения $\delta^{13}C$ и $\delta^{15}N$ тканей и органов были нормированы на $\delta^{13}C$ и $\delta^{15}N$ мышц соответствующего организма согласно уравнениям (Korobushkin et al., 2014):

$$МС\text{-}\delta^{13}C = \delta^{13}C_{мышцы} - \delta^{13}C_{ткань/орган} \text{ или } МС\text{-}\delta^{15}N = \delta^{15}N_{мышцы} - \delta^{15}N_{ткань/орган.}$$

Для проверки влияния различных тканей и органов на изотопный состав углерода, азота, а также отношение валового содержания углерода к азоту (C/N) вида использовали однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA). Для множественного сравнения средних применяли критерий достоверно значимой разности (Tukey's HSD test). Перед анализом выборки проверяли на нормальность распределения с помощью анализа распределения остатков (Statistica residuals tool). Для всех данных рассчитывали среднее и стандартную ошибку среднего. При проверке статистических гипотез за уровень значимости принято $p < 0.05$. Обработку данных проводили с помощью программы Statistica 13.3 (TIBCO Software, США).

Результаты и обсуждение

Изотопный состав углерода и азота мокриц *A. officinalis* ($F = 13.0$, $p < 0.0001$ и $F = 32.8$, $p < 0.0001$ соответственно) и *A. vulgare* ($F = 11.7$, $p=0.0002$ и $F = 21.3$, $p < 0.0001$ соответственно) статистически

[1] Латинские названия растений приводятся по работе С.К. Черепанова (1995).

значимо зависел от анализируемой ткани или органа. Вариабельность значений достигала 5.3‰ для МС-$\delta^{13}C$ и 5.9‰ для МС-$\delta^{15}N$. Наиболее высокие $\delta^{13}C$ и, наоборот, низкие $\delta^{15}N$ отмечены в карапаксе, отличаясь от мышечной ткани у обоих видов более чем на 4.1‰ и 5.1‰ соответственно (рис. 1). За счет низкого содержания органического углерода (около 19%) и азота (около 2%) соотношение C/N в карапаксе составляло в среднем 9.9±0.8‰ и 8.4±0.4‰ у *A. officinalis* и *A. vulgare* соответственно, при значениях около 3.5‰ в мышцах обоих видов. Данные различия связаны со значительным содержанием в экзоскелете инертных неорганических соединений (карбоната кальция), формирование которых сопровождается накоплением ^{13}C (Jacob et al., 2005), тем самым обогащаясь относительно метаболически активных тканей (мышцы, жир и др.). И, наоборот, обеднение карапакса ^{15}N относительно мышц связано с высоким содержанием хитина, изотопный состав которого у членистоногих обыкновенно имеет низкие значения $\delta^{15}N$ (Schimmelmann, DeNiro, 1986; Webb et al., 1998). Схожие результаты были получены и ранее для других групп беспозвоночных животных с кальцинированным экзоскелетом (Kolasiński et al., 2008; Maraun et al., 2011), в том числе подробнее – для крупных почвенных сапрофагов – двупарноногих многоножек (Семенюк, Тиунов, 2011а, б).

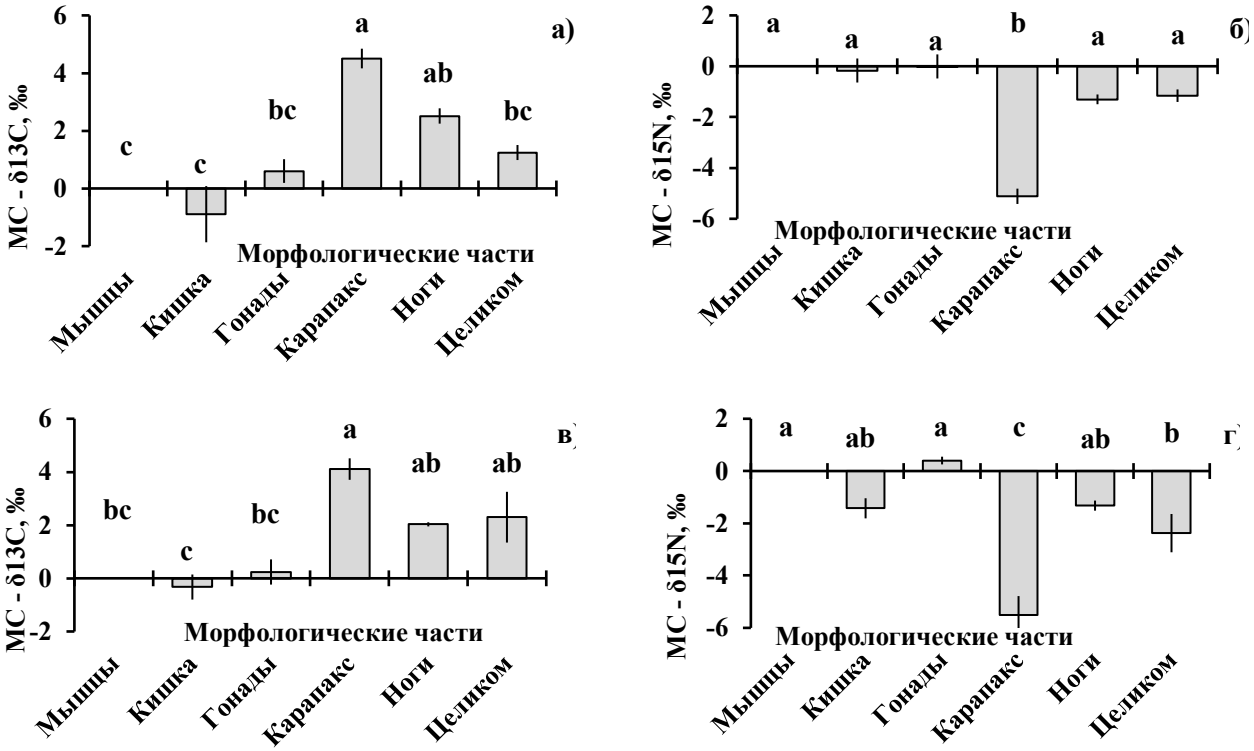


Рис. 1. Нормированные на мышцы значения изотопного состава углерода (МС-$\delta^{13}C$, среднее±стандартная ошибка) и азота (МС-$\delta^{15}N$, средне±стандартная ошибка) тканей и органов мокриц *A. officinalis* (а и б соответственно) и *A. vulgare* (в и г соответственно). *Условные обозначения для рисунков 1-2:* 0.0±0.0‰ – изотопная подпись мышц, «целиком» – экземпляр, гомогенизированный целиком, «кишка» – стенка кишечника; разные буквы указывают на статистически значимые различия между средними, согласно результатам HSD Tukey's test, при $p < 0.05$.

Значения МС-$\delta^{13}C$ и МС-$\delta^{15}N$ гомогенизированных целиком экземпляров и отдельно ног мокриц не отличались значимо друг от друга вне зависимости от вида (рис. 1) и были обогащены ^{13}C относительно мышц в среднем на 1.7‰ и 2.3‰, но обеднены ^{15}N в среднем на 1.3% и 1.8‰. При этом величины МС-$\delta^{13}C$ ног и гомогенезированных *A. vulgare* значимо не отличались от таковых карапакса. Соотношение C/N указанных органов варьировало от 5 до 5.8 у обоих видов, занимая промежуточную позицию между мышцами и карапаксом. Полученные данные указывают на существенное содержание карбонатов в покровных тканях конечностей крупных мокриц, а также значимое участие экзоскелета в гомогенизированных образцах, что затрудняет их использование для оценки трофической позиции таксона в детритных пищевых сетях. Состав экзоскелета мокриц может

также существенно варьировать в зависимости от видовой принадлежности (Hopkin, 1991): от мелких видов с мягкими покровами (представители сем. Trichoniscidae. Ligiidae) до крупных животных со значительно кальцинированным карапаксом (как, например, *A. vulgare* и *A. officinalis* в нашем исследовании). Возраст животного также, вероятно, будет значимым фактором, влияющим на изотопную подпись мокриц – увеличение размера тела членистоногих, как правило, пропорционально увеличению относительного веса экзоскелета (Jacob et al., 2005; Семенюк, Тиунов, 2011а; Gongalsky, 2021). Например, карапакс диплопод составляет от 5 до 25% в зависимости от линьки и возраста особи (David, Vannier, 1995). Для исследования в водных экосистемах зачастую применяют методику предварительного растворения карбонатов в соляной кислоте (Mateo et al., 2008; Serrano et al., 2008), однако использование данного метода для проб наземных членистоногих показали, что обработка соляной кислотой может существенно повлиять на значения $\delta^{15}N$ образца (Семенюк, Тиунов, 2011б). Таким образом, использование гомогенизированных образцов, а также конечностей требует дополнительных исследований видовых и возрастных ограничений.

У обоих проанализированных видов мокриц $\delta^{13}C$ и $\delta^{15}N$ стенки кишечника, половой системы, и мышц значимо не отличались друг от друга (рис. 1). Тем не менее, стенки кишечника *A. vulgare* были несколько обеднены ^{15}N относительно мышц (на 1.4±0.4‰), что может быть вызвано остатками пищи в пищеварительной системе. Несмотря на избирательное извлечение стенки кишечника, специальных процедур промывки или чистки перед изотопным анализом не проводилось и, в целом, затруднительная процедура, выходящая за рамки настоящей работы.

Органы и ткани сколопендр показали низкую вариабельность изотопного состава (рис. 2): МС-$\delta^{13}C$ значимо не различались (F=2.4, p = 0.086), варьируя по средним значениям в диапазоне 1.5‰.

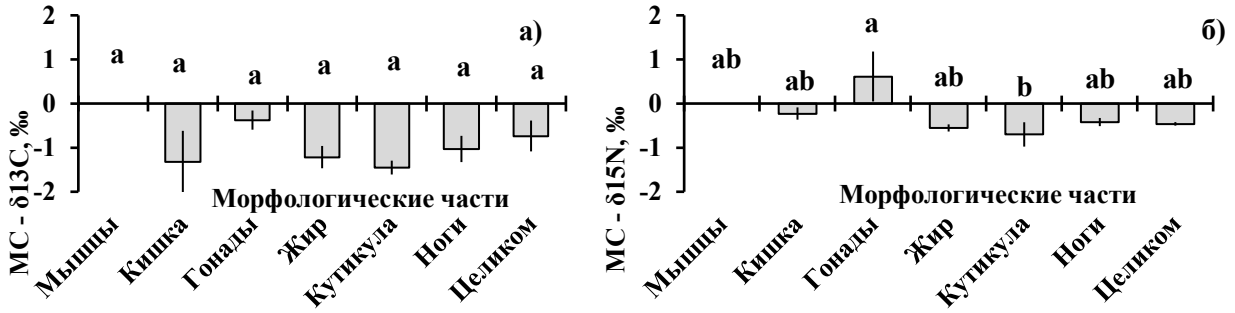


Рис. 2. Нормированные значения изотопного состава углерода (а; МС-$\delta^{13}C$, среднее±стандартная ошибка) и азота (б; МС-$\delta^{15}N$, средне±стандартная ошибка) различных тканей и органов сколопендр *S. cingulata*.

Разброс значений МС-$\delta^{15}N$ был еще ниже – 1.3‰. Кутикула сколопендр была несколько обеднена ^{13}C и ^{15}N относительно мышц (в среднем на 1.4 и 0.7‰ соответственно; рис. 2). Соотношение C/N в кутикуле было немного выше, чем в мышцах, но сопоставимо (3.8±0.1 и 3.3±0.1 соответственно). Это указывает на отсутствие во внешних хитинизированных покровах губоногих многоножек неорганических карбонатов, в отличие от карапакса мокриц в нашем исследовании или двупарноногих многоножек (Семенюк, Тиунов, 2011б). В тоже время полученный результат вполне согласуется с предыдущими исследованиями изотопного состава $\delta^{13}C$ тканей и органов беспозвоночных, указывающих на различия между хитинизированными органами и мышцами большинства беспозвоночных (Traugott et al., 2007; Frossard et al., 2013). К примеру, хитинизированные головные капсулы двукрылых отличались от остального тела на 0.9‰ (Frossard et al., 2013), что сопоставимо с результатами настоящего исследования.

Наибольшее отклонение от мышц, а также дисперсия значений МС-$\delta^{13}C$ (в среднем 1.3±0.7‰) была характерна для проанализированных стенок кишечника сколопендр. Обеднение ^{13}C относительно мышц, вероятно, вызвано присутствием небольшого количества остатков пищи, симбионтов или паразитов, и вполне соответствует накоплению ^{13}C на один трофический уровень – по разным оценкам эта величина составляет около 1‰ (Тиунов, 2007; Korobushkin et al., 2014; Potapov et al., 2019). В потенциальные объекты питания сколопендр входит широкий круг

сапротрофных, хищных беспозвоночных и даже мелких позвоночных животных (Залесская, Шилейко, 1991; Potapov et al., 2022), что без должной очистки пищеварительной системы может существенно повлиять на изотопные значения.

Заключение

Ввиду сильной вариабельности изотопного состава углерода и азота различных тканей и органов мокриц, для корректной оценки трофической позиции животных рекомендуется использование мышечной ткани или гонад. Использование стенки кишечника возможно только при условии обязательного извлечения остатков пищи. У небольших видов мокриц могут быть взяты для анализа ноги, но для крупных животных (как *A. officinalis* в настоящем исследовании) использование конечностей и гомогенизация животных нежелательна из-за сильной обызвествленности кутикулы, составляющей значительную долю от общей биомассы животного. Перед использованием каких-либо тканей и органов, отличных от мышц, рекомендуется предварительный анализ изотопного состава $\delta^{13}C$ и $\delta^{15}N$.

Для оценки трофического положения хилопод с помощью анализа $\delta^{13}C$ и $\delta^{15}N$ кроме мышц могут быть использованы как гомогенизированные пробы отдельных животных, так и только конечности или отдельные части организма; использование пищеварительной системы – нежелательно.

Благодарности. Авторы благодарны О.Н. Быхаловой за помощь в организации работ на территории заповедника «Утриш».

Финансирование. Исследование изотопного состава беспозвоночных выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ "Роль субсидии морского органического вещества в формировании функциональной и таксономической структуры наземных детритных пищевых сетей" № 19-74-10104 (2019-2022 гг.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Залесская Н.Т., Шилейко А.А. 1991. Сколопендровые многоножки (Chilopoda, Scolopendromorpha). М.: Наука. 102 с.

Семенюк И.И., Тиунов А.В. 2011а. Внутривидовая дисперсия и возрастные изменения изотопного состава ($^{15}N/^{14}N$, $^{13}C/^{12}C$) тканей диплопод (Myriapoda, Diplopoda) // Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В.Г. Белинского. № 25. С. 432-440.

Семенюк И.И., Тиунов А.В. 2011б. Дифференциация трофических ниш в сообществах диплопод лесов умеренной и тропической зон // Вестник Московского университета. Серия 16. Биология. № 2. С. 29-31.

Черепанов С.К. 1995. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). Спб.: Мир и семья. 992 с.

Ben-David M., Flaherty E.A. 2012. Stable isotopes in mammalian research: a beginner's guide // Journal of Mammalogy. Vol. 93. P. 312-328

David J.F., Vannier G. 1995. Seasonal field analyses of water and fat content in the long-lived millipede *Polyzonium germanicum* (Diplopoda, Polyzoniidae) // Journal of Zoology. Vol. 236. P. 667-679.

De Smedt P., Baeten L., Berg M.P., Gallet-Moron E., Brunet J., Cousins S.A.O., Decocq G., Diekmann M., Giffard B., De Frenne P., Hermy M., Bonte D., Verheyen K. 2018. Desiccation resistance determines distribution of woodlice along forest edge-to-interior gradients // European Journal of Soil Biology. Vol. 85. P. 1-3.

Ehrich D., Tarroux A., Stien J., Lecomte N., Killengreen S., Berteaux D., Yoccoz N.G. 2011. Stable isotope analysis: modelling lipid normalization for muscle and eggs from arctic mammals and birds // Methods in Ecology and Evolution. Vol. 2. P. 66-76.

Frossard V., Belle S., Verneaux V., Millet L., Magny M. 2013. A study of the delta C-13 offset between chironomid larvae and their exuvial head capsules: implications for palaeoecology // Journal of Paleolimnology. Vol. 50. P. 379-386.

Gongalsky K.B. 2021. Soil macrofauna: Study problems and perspectives // Soil Biology and Biochemistry. Vol. 159. paper 108281. P. 1-11..

Gongalsky K.B., Pokarzhevskiin A.D., Savin F.A., Melnikov N.M. 2007. Soil invertebrate population and trophic activity at the main landscapes of the Abrau Peninsula // Landscape and biological diversity of south-Western Caucasus. P. 46-58.

Gratton C., Forbes A. 2006. Changes in $\delta^{13}C$ stable isotopes in multiple tissues of insect predators fed isotopically distinct prey // Oecologia. Vol. 147. P. 615-624.

Hobson K.A., Clark R.G. 1992. Assessing avian diets using stable isotopes II: Factors influencing diet-tissue fractionation // The Condor. Vol. 94. P. 189-197.

Hopkin S. 1991. A key to the woodlice of Britain and Ireland // Field Studies. Vol. 7. P. 599-650.

Jacob U., Mintenbeck K., Brey T. Knust R., Beyer K. 2005. Stable isotope food web studies: a case for standardized sample treatment // Marine Ecology Progress Series. Vol. 287. P. 251-253.

Jeffery S., Gardi C., Jones A., Montanarella L., Marmo L., Miko L., Ritz K., Pérès G., Römbke J., Putten W.V. 2010. European Atlas of Soil Biodiversity. Luxembourg: Publications Office of the European Union. 128 p.

Klarner B., Maraun M., Scheu S. 2013. Trophic diversity and niche partitioning in a species rich predator guild – Natural variations in stable isotope ratios ($^{13}C/^{12}C$, $^{15}N/^{14}N$) of mesostigmatid mites (Acari, Mesostigmata) from Central European beech forests // Soil Biology & Biochemistry. Vol. 57. P. 327-333.

Kolasiński J., Rogers K., Frouin, P. 2008. Effects of acidification on carbon and nitrogen stable isotopes of benthic macrofauna from a tropical coral reef // Rapid Communications in Mass Spectrometry. Vol. 22. P. 2955-2960.

Korobushkin D.I., Gongalsky K.B., Tiunov A.V. 2014. Isotopic niche ($\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$ values) of soil macrofauna in temperate forests // Rapid Communications in Mass Spectrometry. Vol. 28. P. 1303-1311.

Korobushkin D.I., Semenyuk I.I., Tuf I.H. 2016. An annotated checklist of the Chilopoda and Diplopoda (Myriapoda) of the Abrau Peninsula, northwestern Caucasus, Russia // Biodiversity Data Journal. Vol. 4. article e7308. P. 1-33.

Layman C.A., Araujo M.S., Boucek R., Hammerschlag-Peyer C.M., Harrison E., Jud Z.R., Matich P., Rosenblatt A.E., Vaudo J.J., Yeager L.A., Post D.M., Bearhop S. 2011. Applying stable isotopes to examine food-web structure: an overview of analytical tools // Biological Reviews. Vol. 87. P. 545-562.

Lesage V., Hammill M.O., Kovacs K.M. 2002. Diet-tissue fractionation of stable carbon and nitrogen isotopes in phocid seals // Marine Mammal Science. Vol. 18. P. 182-193.

Maraun M., Erdmann G., Fischer B.M., Pollierer M.M., Norton R.A., Schneider K., Scheu S. 2011. Stable isotopes revisited: Their use and limits for oribatid mite trophic ecology // Soil Biology & Biochemistry. Vol. 43. P. 877-882.

Martinez del Rio, C.; Wolf, N.; Carleton, S.A.; Gannes L.Z. 2009. Isotopic ecology ten years after a call for more laboratory experiments // Biological Reviews. Vol. 84. P. 91-111.

Mateo M.A., Serrano O., Serrano L., Michener R.H. 2008. Effects of sample preparation on stable isotope ratios of carbon and nitrogen in marine invertebrates: implications for food web studies using stable isotopes // Oecologia. Vol. 157. P. 105-115.

Perkins M.J., McDonald R.A., van Veen F.J.F., Kelly S.D., Rees G., Bearhop S. 2013. Important impacts of tissue selection and lipid extraction on ecological parameters derived from stable isotope ratios // Methods in Ecology and Evolution. Vol. 4. P. 944-953.

Peterson B.J., Fry B. 1987. Stable isotopes in ecosystem studies // Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics. Vol. 18. P. 293-320.

Phillips D.L., Eldridge P.M. 2006. Estimating the timing of diet shifts using stable isotopes // Oecologia. Vol. 147. P. 195-203.

Pinnegar J.K., Polunin N.V.C. 1999. Differential fractionation of $d^{13}C$ and $d^{15}N$ among fish tissues: implications for the study of trophic interactions // Functional Ecology. Vol. 13. P. 225-231.

Post D.M.P. 2002. Using stable isotopes to estimate trophic position: Models, methods, and assumptions // Ecology. Vol. 83. P. 703-718.

Potapov A.M., Beaulieu F., Birkhofer K., Bluhm S.L., Degtyarev M.I., Devetter M., Goncharov A.A., Gongalsky K.B., Klarner B., Korobushkin D.I., Liebke D.F., Maraun M., Mc Donnell R.J., Pollierer M.M., Schaefer I., Shrubovych J., Semenyuk I.I., Sendra A., Tuma J., Tůmová M., Vassilieva A.B., Chen T.-W., Geisen S., Schmidt O., Tiunov A.V., Scheu S. 2022. Feeding habits and multifunctional classification of soil-associated consumers from protists to vertebrates // Biological Reviews. article 10.1111/brv.12832. P. 1-61.

Potapov A.M., Tiunov A.V., Scheu S. 2019. Uncovering trophic positions and food resources of soil animals using bulk natural stable isotope composition // Biological Reviews. Vol. 94. P. 37-59.

Reshetnikov A.N., Korobushkin D.I. 2021. Intra-Body Variations of Stable Isotope Ratios ($\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$) and Influence of Storage Methods in Aquatic and Post-Aquatic Stages of the Common Toad, Bufo bufo // Water. Vol. 13. P. 2544.

Schilder J., Tellenbach C., Möst M., Spaak P., van Hardenbroek M., Wooller M.J., Heiri O. 2015. The stable isotopic composition of Daphnia ephippia reflects changes in $\delta^{13}C$ and $\delta^{18}O$ values of food and water // Biogeosciences. Vol. 12. P. 3819-3830.

Schmidt O., Scrimgeour C.M., Curry J.P. 1999. Carbon and nitrogen stable isotope ratios in body tissue and mucus of feeding and fasting earthworms (*Lumbricus festivus*) // Oecologia. Vol. 118. P. 9-15.

Schmölzer K. 1965. Ordnung Isopoda (Landasseln) // Liferung 4, 5. Berlin: Akademie-Verlag. 468 s.

Serrano O, Serrano L, Mateo MA, Colombini I, Chelazzi L, Gagnarli E, Fallaci M. 2008. Acid washing effect on elemental and isotopic composition of whole beach arthropods: implications for food web studies using stable isotopes // ActaOecologica. Vol. 34. P. 89-96.

Shipley O.N., Matich P. 2020. Studying animal niches using bulk stable isotope ratios: an updated synthesis // Oecologia. Vol. 193. P. 27-51.

Traugott M., Pazmandi C., Kaufmann R., Juen A. 2007. Evaluating N-15/N-14 and C-13/C-12 isotope ratio analysis to investigate trophic relationships of elaterid larvae (Coleoptera: Elateridae) // Soil Biology & Biochemistry. Vol. 39. P. 1023-1030.

Wehi P., Hicks B. 2010. Isotopic fractionation in a large herbivorous insect, the Auckland tree weta // Journal of Insect Physiology. Vol. 56. P. 1877-1882.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2022, том 28, № 2 (91), с. 78-84

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 631.46

ДИНАМИКА МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ ПОЧВ ЧУЙСКОЙ ДОЛИНЫ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТИПА ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ НА ПАСТБИЩАХ

© 2022 г. Н.Э. Тотубаева*, К.Т. Шалпыков**

**Кыргызско-Турецкий университет «Манас»*
Кыргызская Республика, 7200042, г. Бишкек, Кыргызстан, просп. Ч. Айтматова, д. 56
E-mail: nurzat.totubaeva@manas.edu.kg

***Институт химии и фитотехнологий Национальной академии наук Кыргызской Республики*
Кыргызская Республика, 720000, г. Бишкек, просп. Чуй, д. 265. E-mail: alhor6464@mail.ru

Поступила в редакцию 28.06.2021. После доработки 09.01.2022. Принята к публикации 13.01.2022.

Почвенная микрофлора одной из первых чувствует на себе отрицательное воздействие и может служить биологическим индикатором изменения почвенной структуры и степени воздействия на почвенную экосистему. В 2020 г. были проведены исследования на двух участках, которые расположены в ущелье Шамшы в Чуйской области Кыргызской Республики. Один из участков был изьят из пастбищепользования на один год в 2020 г. и два года в 2019 г. по сравнению с контрольным активно используемым вариантом. Было изучено микробиологическое разнообразие общепринятыми методами микробиологии. Микромицеты исследуемых почв были представлены в доминировании устойчивых к неблагоприятным факторам среды видов *Trichoderma*, *Cladosporium* и *Alternaria,* т.е. видовое разнообразие было незначительным, с предобладанием представителей доминантных видов. Снижение антропогенной нагрузки на исследуемых участках приводит к активации микробиологических процессов и существенному увеличению микробиоразнообразия в почве, что свидетельствует об улучшении ферментативных свойств и ускорении процесса самовосстановления почвы. Также исследования показали, что почвы, находящиеся в режиме нерегулируемого перевыпаса скота, значительно подвержены высушиванию и вытаптыванию, что приводит к уменьшению микробиологического разнообразия в почвенной экосистеме и доминированию форм микроорганизмов, устойчивых к неблагоприятным факторам среды. Полученные данные позволяют предполагать, что перевыпас скота влияет на структуру почвенного микробиоценоза, заменяя ее более засухоустойчивыми видами. Таким образом, микробиологическое разнообразие почв подверженных различной степени антропогенного прессинга может служить биологическим индикатором состояния почвенной экосистемы. Помимо этого необходимо решение вопроса об урегулировании ротационного выпаса скота, что также сможет обеспечить сохранение продуктивности пастбищ и способствовать сохранению биологического разнообразия флоры и фауны пастбищ.

Ключевые слова: микробиологическое разнообразие, антропогенная нагрузка, мониторинг почв, экосистема, тип пастбищепользования, деградация пастбищ.

DOI: 10.24412/1993-3916-2022-2-78-84

Чуйская область Кыргызской Республики, согласно данным Международного фонда сельскохозяйственного развития, относится к категории уязвимых к изменениям климата регионам (рис. 1).

По данным национального плана действий по борьбе с опустыниванием в Кыргызской республике, основная проблема окружающей среды в сельскохозяйственном секторе – деградация, вызванная бесконтрольным выпасом и большим поголовьем животных. Выбивание стало причиной сильного ухудшения пастбищ, в результате чего потеряна продуктивность, имеет место сильная эрозия почв, ветровая эрозия, обезлесение, участились сели (Национальный план действий ..., 2000). Несмотря на то что на Чуйскую область приходится всего 9% пастбищ республики, их загруженность составляет более 200%, а потенциал роста поголовья скота исчерпан (Национальный статистический

комитет Кыргызской Республики, 2018). Хорошо изучены степень деградации пастбищ и их состояние, но особый интерес вызывает микробиологичекое разнообразие пастбищных почв при различной степени нагруженности. Видовое разнообразие в сообществах почвенных микроорганизмов позволяет сохранять важные функции экосистемы, несмотря на изменения в сообществах, происходящих под влиянием антропогенного загрязнения (Bagyaraj, Ashwin, 2017; Mathew et al., 2012; Morrien et al., 2017). Микроорганизмы чутко реагируеют на любые, даже незначительные изменения, что делает их незаменимым объектом экологического мониторинга почв. Изучение микрофлоры почвы важно и с точки зрения ее способности к самовосстановлению вследствие негативного воздействия (Bastida et al., 2017). Таким образом, состав сообщества микроорганизмов в почвах представляет собой чувствительный показатель состояния почвы по сравнению с общими её характеристиками (Blagodatskaya, Kuzyakov, 2013; Cardoso et al., 2013; Dengler et al., 2014) и позволяет оценить состояние исследуемой экосистемы, а также выявить степень антропогенной нагрузки (Leff et al., 2015).

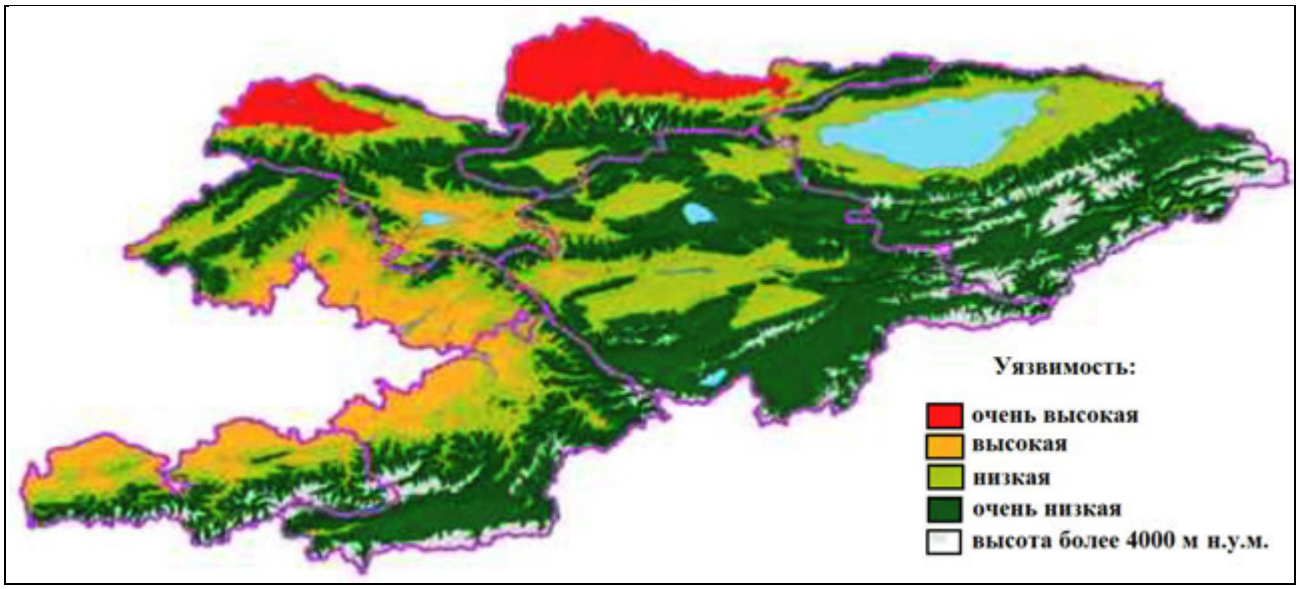


Рис. 1. Картосхема уровней уязвимости к изменению климата в Кыргызской Республике (МФСР, 2017).

Даже незначительное антропогенное загрязнение почв вызывает изменения количественных характеристик почвенной микробиоты (Кирцидели, 2019; Кутовая и др., 2018). При значительном загрязнении почв среди доминантных видов появляются такие, как *Aspergillus fumigatus* Fresen. 1863, *Humicola grisea* Traaen 1914, *Monodictys levis* (Wiltshire) S. Hughes 1958, которые не отмечаются даже с минимальной частотой встречаемости в контрольных почвах (Huhe et al., 2017; Ferris, Tuomisto, 2015). В разных типах почв присутствуют типичные группировки микроорганизмов (Lavelle et al., 2016). Особенно возросла актуальность их изучения в связи с усилением динамичности экосистем под влиянием различных экологических и антропогенных факторов (Phillips, 2017; Maron et al., 2018). Целью работы было изучение динамики микробиологического разнообразия пастбищных почв при обычной перегруженности пастбищ и при изъятии их из общего пользования на 1 и на 2 года в условиях Чуйской долины Кыргызской Республики.

Материалы и методы

Объектом наших исследований были пастбища Чуйской области Кыргызской Республики. Чуйская область расположена в северной части страны. Граничит на севере и западе с Республикой Казахстан, на юго-западе – с Таласской и Джалал-Абадской областями, на юге – с Нарынской областью, на юго-востоке – с Иссык-Кульской областью.

С целью изучения микробиологического состояния пастбищных почв нами были отобраны почвенные образцы, с опытных участков, огороженные металлической сеткой, общей площадью

1.0 га (100 х 100 м). Подробное описание опытных участкой приведены в таблице. Эти участки представляют собой пастбища с горными каштановыми почвами, с луговой растительностью.

Таблица. Хаактеристики участков отбора почвенных образцов.

Идентификатор, №	Дата отбора	Географические координаты отбора	Высота, м н.у.м.	Температура воздуха в день отбора проб, °С	Описание участка
1	13.09.2020	42° 35' 29.1" с.ш., 75° 24' 08.53" в.д.,	1654	14°С	Участок общей площадью 1.0 га, который был огорожен в 2020 г.
2	13.09.2020	42° 35' 29.1" с.ш., 75° 24' 08.53" в.д.,	1654	14°С	Участок общей площадью 0.1 га, огороженный в 2019 г.
3	13.09.2020	42° 35' 17.64" с.ш., 75° 27' 06.49" в.д.,	1948	14°С	Участок общей площадью 1.0 га, огороженный в 2020 г.
4	13.09.2020	42° 35' 17.64" с.ш., 75° 27' 06.49" в.д.,	1948	14°С	Неогороженный участок, в непосредственной близости к участку № 3

Отбор проб почвы и их подготовка для микробиологического анализа произведена согласно ГОСТ 14.4.4.02-84 (1985). Отбор проб почвы проводился методом конверта. На каждой исследуемой площадке было отобрано двадцать пять образцов. Далее образцы гомогенизировали смешиванием для получения репрезентативных образцов. Образцы почвы отбирались в стерильные пергаментные пакеты. Для взятия пробы почвы стерильным ножом (ГОСТ 23707-79, 1979) снимали верхний слой почвы (1.5-2.0 см), для удаления посторонней микрофлоры на участке. Далее лопатой отбирали 100-200 г почвы и помещали в стерильный пергаментный пакет. Разрез закладывали непосредственно перед отбором образцов. Образцы почвы для микробиологических исследований высушивали при температуре не выше 30°С. Хранение сухих образцов осуществляли в стерильных пергаментных пакетах, помещенных в полотняные мешочки. Перед сушкой образцы равномерно распределяли на листах бумаги в низких кюветах слоем 1-1.5 см, удаляли камни, стекло, крупные щепки и иные включения, крупные комки раздавливали гладкой деревянной палочкой. В период высушивания образцы несколько раз перемешивали, а также оберегали от запыления. Измельчение почвы осуществляли в фарфоровой ступке, просеивали через сито диаметром 1 мм (Зенова и др., 2001).

Подготовка почвенного образца к анализу. Подготовка почвенного образца к микробиологическому анализу заключается в удалении крупных корней, разрушении почвенных агрегатов, десорбировании микроорганизмов с поверхности почвенных частиц, дезагрегировании микроколоний микроорганизмов. Для десорбции микроорганизмов и дезагрегирования микроколоний используется обработка почвенного образца ультразвуком на установке УЗДН-1 при следующем режиме: время обработки образца 4 мин, сила тока 0.44 А, частота 15 кГц. Для учета мицелиальных организмов в почве используют растирание почвенного образца, увлажненного до пастообразного состояния в течение 3-5 мин в фарфоровой ступке резиновым пестиком или пальцем в резиновом напальчнике.

Изоляция микроорганизмов в лаборатории. Для выделения из почвы бактерий используют мясопептонный агар (мясной бульон – 1 л, агар – 20 г), среду Чапека для бактерий (г/л): KCl – 0.5, $MgSO_4$ x$7H_2O$ – 0.5, K_2HPO_4 – 1, $FeSO_4$ x $7H_2O$ – 0.01, $NaNO_3$ – 2.0, $CaCO_3$ – 3.0, сахароза – 20, агар – 20. Для выделения из почвы актиномицетов используют казеин-глицериновый агар (г/л): гидролизат

казеина с дрожжевым экстрактом – 0.3, глицерин -10 мл, KNO_3 – 2, K_2HPO_4 – 2, $MgSO_4$x $7H_2O$ – 0.05, $FeSO_4$ x H_2O – 0.01, $CaCO_3$ – 0.02, NaCl – 2, агар – 20. При выявлении и учете почвенных микромицетов из почвы методом посева из разведений почвенных суспензий на плотные питательные среды наиболее часто используют подкисленные молочной кислотой (4 мл/л) сусло – агар и среду Чапека следующего состава (г/л): сахароза – 20.0, $NaNO_3$ – 2.0, KH_2PO_4 – 1.0, $MgSO_4$ x $7H_2O$ – 0.5, KCl – 0.5, $FeSO_4$ x H_2O – 0.01, агар – 20.0.

Приготовление почвенных суспензий. Перед посевом влажную или сухую почвы хорошо перемешивали, высыпали на часовое стекло, предварительно протертое спиртом, освобождали от посторонних включений. Использовали навеску в 1 г после соответствующей обработки почвы растиранием или другим способом переносили ее в колбу со 100 мл стерильной водопроводной воды. Готовили разведения почвенной суспензии, для чего 1 мл почвенной суспензии из колбы (разведение 1: 100) последовательно переносили в ряд пробирок с 10 мл стерильной водопроводной воды. Посев почвенной суспензии на плотные среды проводили из разведений 1:10, 1:100, 1:1000 и т.д. в зависимости от таксономической принадлежности учитываемых микроорганизмов, типа почвы, ее влажности и других факторов. Из каждого образца почв брали не менее 3-5 повторных навесок и каждую навеску высевали на 3-5 чашек с каждой средами.

Подсчет количества колониеобразующих единиц (КОЕ) микроорганизмов в 1 г почвы. Подсчет количества колоний на чашке проводят со дна чашки в проходящем свете, с использованием счетчика колоний. Подсчитав количество колоний на всех параллельных чашках, вычисляют среднее их число на чашке, затем делают пересчет содержания колониеобразующих единиц в 1 г (КОЕ/г) почвы по формуле:

$$А = Б \cdot В \cdot С,$$

где А – КОЕ/г почвы, Б – среднее количество колоний на чашке, В – разведение почвенной суспензии, из которого произведен посев, С – количество капель в 1 мл суспензии (количество капель в пипетке на 1 мл, с помощью которой проводили посев).

Оценку видового и родового разнообразия актиномицетов осуществляли с помощью индекса разнообразия Шеннона – Н (Одум, 1975). Статистическую обработку экспериментальных данных проводили в пакете STATISTICA 5.0 для Windows.

Результаты и обсуждение

Численность актиномицетов в исследуемых почвах доминировала над другими видами бактерий и микромицетов (рис. 2). Актиномицеты являются одним из звеньев трофической цепи, выполняющими роль редуцентов. Основная роль их состоит в разложении сложных полимеров, таких как: лигнин, хитин, целлюлоза и др. По данным О.Е. Марфениной и А.Е. Ивановой (2017), увеличение численности почвенных актиномицетов происходит на поздних этапах микробной сукцессии, когда биомасса грибов начинает снижаться. Однако отмечено (Овчинникова и др., 2010; Свистова и др., 2003; Назаренко, 2013), что актиномицеты обладают более высокой устойчивостью по сравнению с другими группами почвенных микроорганизмов к антропогенному воздействию и доминируют в почвах технозема, что может свидетельствовать о нарушенности почвенной микробной системы в целом (Соловьева, 2014). Также это может свидетельствовать об усилении аридизации почвенной системы (Дорохова и др., 2014; Курапова и др., 2012), возможно, из-за перевыпаса скота, приводящей к деградации пастбищ, что довольно тревожно в свете вышеуказанных проблем возможной аридизации страны.

Численность актиномицетов во всех исследуемых участках высока, а микромицетов минимальна (рис. 2). При этом актиномицеты преобладали на не огороженном участке, т.е. на территории с максимальной нагруженностью (№ 4), а на участках №№ 3, 2 и 1 КОЕ актиномицетов не были столь высокими. Таким образом, наши исследования также подтверждают, что актиномицеты являются устойчивыми видами в условиях повышенной нагрузки на пастбища и могут служить индикаторами состояния последних.

Однако при этом анализ таксономического состава и частоты встречаемости видов показал, что на участке № 2 видовое разнообразие почвенных стрептомицетов было выше и представлено представителями 4-х секций, что свидетельствует о снижении антропогенного воздействия, а на участке № 4 доминировали представители секции Ginereus и Albus, которые являются более

устойчивыми к антропогенному воздействию, что также свидетельстует о повышенном антропогенном воздействии на изучаемые объекты и о необходимости использования ротационного выпаса скота на пастбищах (рис. 3).

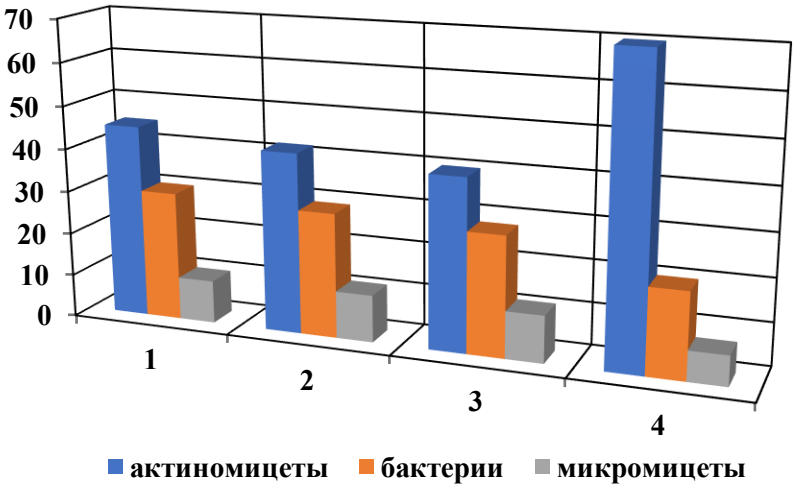


Рис. 2. Численность почвенной микробиоты в вариантах опыта, тыс. КОЕ/г воздушно-сухой почвы.

Бактериальное разнообразие почвенных образцов является еще одним фактором, свидетельствующим о засушливости изучаемых почв (МФСР, 2017).

Так, в них преоблали бактерии актиномицетной линии, которым характерно образование каротиноидных и меланоидных пигментов. Преобладание в пустынных почвах бактерий актиномицетной линии, большинство которых обладает гидролитической активностью, коррелирует с быстрыми темпами деструкции растительного опада в пустынных экосистемах (Курапова и др., 2012). Полученные данные позволяют предполагать, что возможно перевыпас скота влияет на структуру почвенного микробиоценоза, заменяя ее более засухоустойчивыми видами.

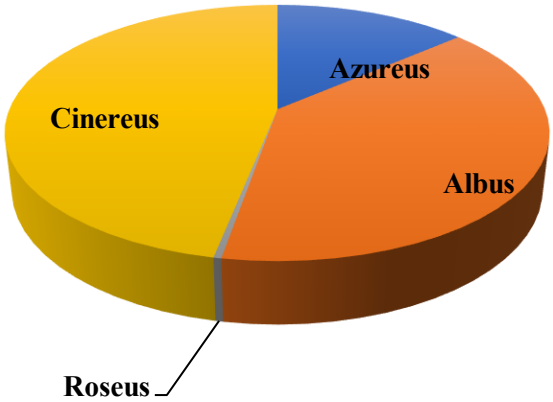


Рис. 3. Таксономический состав и частота встречаемости стрептомицетов, %.

Микромицеты исследуемых почв были представлены в доминировании видов *Trichoderma*, *Cladosporium* и *Alternaria,* т.е. видовое разнообразие было незначительным и предобладали представители доминантных видов, что характеризует почвы как подвергающиеся антропогенному прессингу. Означает ли это, что изучаемые объекты, согласно теории экологических модификаций, представляющей собой “единую взаимообусловленную систему приспособлений биоценоза к изменяющимся условиям среды” (Абакумов, 1991), характеризуются как зона “антропогенного напряжения” или нет, требует дальнейшего исследования.

Выводы

Проведенные исследования показали, что снижение антропогенной нагрузки, которая была изменена в процессе нерегулируемого выпаса скота путем изымания из пользования, приводит к активации микробиологических процессов и увеличению видового разнообразия микроорганизмов в почве, что свидетельствует об ускорении процесса самовосстановления деградированных пастбищ. Почвы, находящиеся в режиме нерегулируемого перевыпаса, сильно предрасположены к уменьшению микробиологического разнообразия в почвенной экосистеме и доминированию устойчивых к неблагоприятным факторам среды форм микроорганизмов. Таким образом, динамика микробиологического разнообразия пастбищных почв, подверженных различной степени антропогенного прессинга, может служить индикатором состояния и аридизации пастбищ.

Финансирование. Все мероприятия в рамках проекта «Защита диких тюльпанов и поддержка пастбищных сообществ в горах Кыргызстана» были выполнены совместно с партнерскими организациями: ФК «Фауна энд Флора Интернэшнл» в Кыргызской Республике, ОФ «Биоресурс» и «Ассоциация лесопользователей и землепользователей Кыргызстана», при финансовой поддержке программы Darwin Initiative Правительства Великобритании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абакумов В.А. 1991. Экологические модификации и развитие биоценозов // Труды Международного симпозиума СССР «Экологические модификации и критерии экологического нормирования», 1-12 июня 1990 г., Нальчик. Л.: Гидрометеоиздат. С. 19.

ГОСТ 14.4.4.02-84. 1985. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического и гельминтологического анализа. М.: Издательство стандартов. 8 с.

ГОСТ 23707-79. 1979. Инструмент мелкий для обработки почвы. Технические условия. Минск: Межгосударственный Совет по стандартизации, метеорологии и сертификации. 13 с.

Дорохова М.Ф., Кошелева Н.Е., Терская Е.В. 2014. Микробиота как интегральный показатель состояния почв города Москвы // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем. Материалы XII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Кн. 1. Киров: Веси. С. 323-325.

Зенова Г.М., Степанов А.А., Лихачева А.А. 2001.Практикум по биологии почв. М.: Изд-во Московского университета. 132 с.

МФСР. 2017. Программа развития животноводства и рынка II (LMDP II). Отчет о завершении разработки проекта. РГ 6. Влияние изменения климата на пастбища и системы животноводства – сводный отчет. 155 с.

Национальный статистический комитет Кыргызской Республики. 2018 [Электронный ресурс http://www.stat.kg/ru/ (дата обращения 07.04.2021)].

Овчинникова Т.А., Прохорова Н.В., Панкратов Т.А. 2010. Некоторые микробиологические особенности почвенного покрова города Новокуйбышевска в осенний период // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. Т. 19. № 2. С. 83-91.

Одум Ю. 1975. Экология. М.: Мир. 741 с.

Кирцидели И.Ю. 2019. Почвообитающие микроскопические грибы в экосистемах Арктики и Антарктики. С-Пб. 459 с.

Кутовая О.В., Гребенников А.М., Тхакахова А.К., Исаев В.А., Гармашов В.М., Беспалов В.А., Чевердин Ю.И., Белобров В.П. 2018. Изменение почвенно-биологических процессов и структуры микробного сообщества агрочерноземов при Разных способах обработки почвы // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. № 92. С. 35-61.

Курапова А.И., Зенова Г.М., Судницин И.И., Кизилова А.К., Манучарова Н.А., Нороввсурэн Ж., Звягинцев Д.Г. 2012. Термотолерантные и термофильные актиномицеты почв зоны пустынных степей Монголии // Микробиология. Т. 81. № 1. С. 105-116.

Марфенина О.Е., Иванова А.Е. 2017. Микологические показатели здоровья внешней городской среды // Человек и природа. Методические рекомендации по гигиеническому обоснованию ПДК химических веществ в почве от 5 августа 1982 г. № 2609-82. С. 48-49.

Назаренко Н.Н. 2013. Оценка структуры комплекса актиномицетов в техногенно нарушенных почвах урбоэкосистемы // Труды II международной научно-практической конференции молодых ученых «Индикация состояния окружающей среды: теория, практика, образование», 25-28 апреля 2013 г. М.: Буки Веди. 480 с.

Национальный план действий по борьбе с опустыниванием в Кыргызской Республике. 2000. 43 с. [Электронный ресурс https://knowledge.unccd.int/sites/default/files/naps/kyrgyzstan-rus2000.pdf (дата

обращения 07.04.2021)].

Свистова И.Д., Талалайко Н.Н., Щербаков А.П. 2003. Микробиологическая индикация урбаноземов города Воронежа // Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация. № 2. С. 175-180.

Соловьева Е.С. 2014. Экологические особенности актиномицетных комлпексов городских почв. Дис. … канд. биол. наук. Киров. 146 с.

Bagyaraj D.J., Ashwin R. 2017. Soil biodiversity: role in sustainable horticulture // Biodiversity in Horticultural Crops. Vol. 5. P. 1-18.

Bastida F., Torres I. F., Hernandez T., García C. 2017. The impacts of organic amendments: do they confer stability against drought on the soil microbial community? // Soil Biology and Biochemistry. Vol. 113. P. 173-183.

Blagodatskaya E., Kuzyakov Y. 2013. Active microorganisms in soil: critical review of estimation criteria and approaches // Soil Biology and Biochemistry. Vol. 67. P. 192-211.

Cardoso E.J.B.N., Vasconcellos R.L.F., Bini D., Miyauchi M.Y.H., dos Santos C.A., Alves P.R.L. 2013. Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? // The Journal of Agricultural Science. Vol. 70. P. 274-289.

Dengler J., Janisová M., Török P., Wellstein C. 2014. Biodiversity of Palaearctic grasslands: a synthesis // Agriculture, Ecosystems & Environment. Vol. 182. P. 1-14.

Lavelle P., Spain A., Blouin M., Brown G., Decaëns T., Grimaldi M., Jiménez J.J., McKey D., Mathieu J., Velasquez E., Zangerlé A. 2016. Ecosystem Engineers in a Self-organized Soil // Soil Science. Vol. 181. Is. 3/4. P. 91-109.

Leff J.W., Jones S.E., Prober S.M., Barberán A., Borer E.T., Firn J.L. 2015. Consistent responses of soil microbial communities to elevated nutrient inputs in grasslands across the globe // PNAS. Vol. 112. P. 10967-10972.

Huhe Y.C., Chen X., Hou F., Wu Y., Cheng Y. 2017. Bacterial and fungal community structures in loess plateau grasslands with different grazing intensities // Frontiers in Microbiology. Vol. 8. P. 606.

Ferris H., Tuomisto H. 2015. Unearthing the role of biological diversity in soil health // Soil Biology and Biochemistry. Vol. 85. P. 101-109.

Mathew R.P., Feng Y., Githinji L., Ankumah R., Balkcom K.S. 2012. Impact of No-Tillage and Conventional Tillage Systems on Soil Microbial Communities // Applied and Environmental Soil Science. 10 p.

Maron P.A., Sarr A., Kaisermann A., Lévêque J., Mathieu O., Guigue J., Ranjard L. 2018. High microbial diversity promotes soil ecosystem functioning // Applied and Environmental Microbiology. No. 84 (9). P. e02738-17.

Morrien E., Hannula S.E., Snoek L.B., Helmsing N.R., Zweers H., de Hollander M. 2017. Soil networks become more connected and take up more carbon as nature restoration progresses // Nature Communications. Vol. 8. P. 14349.

Phillips J.D. 2017. Soil Complexity and Pedogenesis // Soil Science. Vol. 182. Is. 4. P. 117-127.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2022, том 28, № 2 (91), с. 85-93

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

УДК 631.6:556.5

ВОДНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ РЕСПУБЛИКИ КЫРГЫЗСТАН: ПРОБЛЕМЫ И ПОТЕНЦИАЛЫ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

© 2022 г. Н.М. Нуралиева

Нарынский государственный университет им. С. Нааматова
Кыргызская Республика, 722900, г. Нарын, Сагынбай Орозбак уулу, д. 25. E-mail: n_nuralieva@mail.ru

Поступила в редакцию 30.11.2021. После доработки 15.12.2021. Принята к публикации 01.12.2021.

Ирригация остается неотъемлемым компонентом обеспечения продовольственной безопасности во многих странах мира. И Кыргызстан входит в это число, но при этом водные ресурсы Кыргызстана все еще используются недостаточно эффективно. Настоящее исследование демонстрирует оценку условий формирования и качества водных ресурсов Кыргызской Республики на основе анализа нового проекта Государственной программы развития ирригации Кыргызской Республики на 2017-2026 годы и оценки ирригационных объектов Республики с учетом их актуальности, экономических и технических показателей. Современные реалии демонстрируют потребность бережного и рационального использования природных ресурсов. Качественная и безопасная вода становится одним из самых востребованных ресурсов во многих странах мира, поэтому «водные державы» могут сделать воду своим стратегическим ресурсом, но эксплуатация и техническое обслуживание водохозяйственных систем требует немалых финансовых вложений. Платность водопользования может стать основой реформирования экономического механизма межгосударственных взаимоотношений. Результатом проведённого исследования стали сформулированные обоснованные направления стратегического характера модернизации мелиоративного фонда, расширения объемов проводимых мелиоративных мероприятий, связанных с приоритетными мерами развития рационального использования водного баланса.

Ключевые слова: водные ресурсы, водораспределение, орошение, потери воды, эффективное водосбережение, земледелие, водная политика, продовольственная безопасность.

DOI: 10.24412/1993-3916-2022-2-85-93

Продовольственная безопасность Кыргызской Республики (КР) может быть обеспечена при устойчивом развитии сельскохозяйственного производства. Этого можно достичь средствами комплексной мелиорации, включающей в себя орошение земель в сочетании с прогрессивной агротехникой, использованием высокопродуктивных сельскохозяйственных культур, внесения органических и минеральных удобрений (Маматканов, Бажанова, 2017).

Как отмечено в «Национальной стратегии устойчивого развития Кыргызской Республики на 2013-2017 гг.» (2013), утвержденной Указом Президента КР от 21.01.2013, предусмотрено весьма ограниченное освоение новых орошаемых площадей, порядка 50 тыс. га, в краткосрочной перспективе. Однако возможность реализации даже этой задачи ныне представляется весьма сомнительной, исходя из ухудшения макроэкономической ситуации в стране. Устойчивое централизованное обеспечение населения качественной питьевой водой является одним из важнейших факторов снижения уровня бедности населения, залогом повышения его здоровья, одной из основ его благосостояния и создания условий для расширения рынка труда и увеличения продолжительности жизни людей (Абдымаликов, 2010).

Несмотря на обилие водных ресурсов, Кыргызстан сталкивается с нехваткой воды, как для орошения, так и для производственных нужд. Для населения данная тенденция может усиливаться с каждым годом, дефицит будет ощущаться все больше, так как значительная часть водохранилищ и забираемых вод в республике теряется при использовании. С чем же это связано? Во многих регионах существенным фактором непредсказуемости наличия воды является изменение климата. Это влияет на осадки, водосток, гидрологические водотоки, качество воды, температуру воды и

восстановление запасов грунтовых вод. Изменение климата приводит к изменению потребностей в воде со стороны растениеводства и животноводства и производственных нужд населения. Влияние климатических колебаний распространяется как на системы богарного земледелия, влияя на характер осадков, так и на системы орошаемого земледелия, влияя на наличие водных ресурсов, пригодных для использования как источников воды (CFS, 2020).

Сегодня остро стоит вопрос управления водными ресурсами и причиной их потерь, которые часто заключаются в неудовлетворительном техническом состоянии ирригационных и водораспределительных систем, износе оборудования, применении несовершенных методов полива. В связи с этим ухудшается качество воды, все более острой становится проблема засоления орошаемых земель.

Быстро растет конкуренция за водные ресурсы для бытового и промышленного использования и уменьшается доступный объем воды для орошения, а орошаемые земли – это золотой земельный фонд республики (Дубенок, 2020). Нехватка водных ресурсов может касаться и богатых водой регионов, где спрос на воду превышает предложение, и, зачастую, при неважном управлении водопользованием, растет конкуренция за водные ресурсы между секторами сельского хозяйства, энергетики, промышленности, туризма и жилищно-коммунальной сферы (Чортомбаев, 2018).

Строительство новых водохранилищ и оросительных каналов связано со значительными материальными затратами (ирригационные трубы, электроэнергия, строительные материалы, эксплуатация сооружения). Это во всевозрастающей степени создает экологические проблемы (Юсупова, 2014). Содержание и эксплуатация водохранилищ и оросительных каналов очень дорого обходиться. Только проведение эксплуатационных мероприятий на этих сооружениях требует 840 млн. сомов, ежегодные убытки КР от затопления земель составляют 129.5 млн. сомов (Турдиев, 2020).

Стоит отметить, что строительство новых водохранилищ требует дополнительных затрат и в соседних государствах (Казахстан, Таджикистан, Узбекистан), что согласуется на международном уровне. Для решения этой проблемы конкурирующих (а теперь и международных) притязаний на воду, государства Центральной Азии заключили рамочное соглашение, в котором открыто признается, что многолетнее хранение воды для ирригации сопряжено с затратами, в том числе и строительством новых водохранилищ. Эти затраты необходимо компенсировать в виде бартерного обмена электроэнергией, ископаемого топлива, или в денежной форме (Жильцов, Айнур, 2015).

Наибольшую тревогу вызывает экологическое состояние поверхностных и подземных вод Чуйской долины и промышленных районов Южного региона. Это связано, с тем, что значительная часть малых городов и районных центров республики не имеет централизованных канализационных систем и очистных сооружений. К локальному загрязнению открытых водоемов приводит увеличение сброса загрязняющих веществ, недостаточное внимание к способам хранения, обработки, утилизации промышленных и бытовых отходов, низкая культура сельскохозяйственного производства (Шатманов и др., 2016). Таким образом, проблемы орошения и уменьшение доступных водных ресурсов являются актуальными проблемами. Вода – это жизнь, поэтому в ближайшее время нужно сделать всё возможное, чтобы сохранить этот ресурс, который является мощным преимуществом и инструментом в руках, которые владеют чистыми природными водными ресурсами (Эсенаманов, 2016).

Экономическая эффективность использования водных ресурсов в орошаемом земледелии выражается эффектом, который получает сельское хозяйство вследствие увеличения производства продукции земледелия и животноводства (Чортомбаев, 2016).

В Кыргызстане насчитывается более 2000 рек длиной свыше 10 км, а общая их длина составляет почти 35 тыс. км. Наиболее крупные реки республики – это реки Нарын (среднегодовой расход 500 куб.м/сек), Талас (25 м^3/сек), Чу (30 м^3/сек), Кара-Дарья (120 м^3/сек), Сары-Джаз (70 м^3/сек), Чаткал (60 м^3/сек), Кызыл-Суу (50 м^3/сек), Сох (40 м^3/сек), Чон-Кемин (20 м^3/сек). Примерно 80% питания этих рек происходит за счет таяния ледников и снежного покрова. Наиболее высокая водность рек КР преобладает в весенне-летний период (Эргешов и Топчубаев, 2017). Это определяет в значительной мере режим стока вод, обусловливает необходимость сооружения объектов ирригации, водно-энергетических узлов, водохранилищ, обеспечивающих своевременную подачу и рациональное использование водных ресурсов с учетом интересов водопользователей Узбекистана,

Казахстана и Таджикистана.

В советский период построены такие важнейшие межгосударственные водохозяйственные объекты, как Токтогульский, Курпсайский, Таш-Кумырский, Шамалды-Сайский, Уч-Курганский водно-энергетические узлы, Кировское, Орто-Токойское, Папанское, Найманское водохранилища, Чумышская плотина, Большой Чуйский канал. Они позволили с максимальной выгодой для республик Центральной Азии, кроме Туркмении, зарегулировать пропуски воды в режимах, необходимых для функционирования народнохозяйственного комплекса этих государств. Объем ежегодно накапливаемой воды только в Токтогульском, Кировском, Орто-Токойском и Папанском водохранилищах достигает 23 млн. м^3. Зарегулированный пропуск воды в соседние республики, по оценочным данным, обеспечил получение ими чистой прибыли 7.6 млрд. долларов США (Zhupankhan et al., 2018).

Вода является главным фактором, определяющим устойчивость экономики любого государства. Дефицит воды становится более ощутимым с каждым днем. Несмотря на то, что в силу своих природных особенностей и географического положения Центральная Азия является одним из крупнейших регионов-обладателей водными ресурсами, экспертами прогнозируется их дефицит в течение последующих десятилетий, что связано с ростом потребления, а также последствиями глобального изменения климата (Дубенок, 2020).

Проблему максимального использования водных ресурсов для экономического развития страны поднимал первый секретарь Центрального комитета Киргизской ССР Т. Усубалиев. По его инициативе было принято постановление «О межгосударственном водопользовании Узбекистаном, Казахстаном и Таджикистаном водными ресурсами Кыргызстана» обращение к парламентам этих республик. К великому сожалению, данное постановление полностью было проигнорировано, а обращение оказалось не услышанным (Bekturganov et al., 2016).

Следует подчеркнуть, что вода имеет стратегическое значение для выживания людей. Ученые прогнозируют, что в связи с современной тенденцией роста населения Земли через полвека появится новый глобальный дефицит: все острее станет ощущаться большая нехватка воды, особенно питьевой. Дефицит будет увеличиваться и по мере роста мировой экономики. Например, по оценке Всемирного Банка, уже сегодня более 80 стран мира сталкиваются с нехваткой пресной воды, а по данным ООН, 31 государство стоит перед 24 угрозой серьезного водного кризиса. Считается, что нехватка наступает тогда, когда наличие воды опускается до 1700 л на человека в год, а кризис – когда в год на человека приходится меньше 1 тыс. л. Неслучайно дефицит пресной воды признан ООН наиболее важной проблемой, стоящей перед человечеством. Сегодня в мире почти 900 млн. человек не имеют доступа к чистой воде, а 2.7 млрд. – живут в антисанитарных условиях. Каждому третьему гражданину мира недостает воды, либо она низкого качества (Чортомбаев, 2016). Согласно прогнозу Национального института стратегических исследований Кыргызской Республики**,** потребности воды на орошение и сельскохозяйственное водоснабжение к 2024 г. по одному сценарию возрастут на 57%, по другому – на 77% (Абдымаликов, 2010).

Главной целью данного исследования стало изучение насущных проблем государственных, и межгосударственных водохозяйственных объектов водопользования.

Методы исследования

В ходе выполнения исследования был проведен анализ подготовки нового проекта Государственной программы развития ирригации Кыргызской Республики на 2017-2026 годы. Было рассмотрено около 100 ирригационных строительных объектов, имеющихся в республике; отобрано 46 водохозяйственных объектов с учетом их актуальности, экономических и технических показателей, социальной значимости для регионов, а так же - обращений жителей к Президенту Кыргызской Республики, в Правительство Кыргызской Республики и ЖогоркуКенеш Кыргызской Республики (Bekturganov et al., 2016).

Оценены стратегические преимущества водных ресурсов Кыргызской Республики и рассмотренные проблемы рационального использования водных ресурсов на современном этапе экономического развития суверенного Кыргызстана. Оценена уместность прямого вмешательства государства в решение вопросов рационального использования водных ресурсов (Является ли это одной из важных задач обеспечения экономического развития страны?). Статистический анализ

данных статьи проводилась на основе собранных материалов статисткомитета Кыргызской Республики.

Результаты и обсуждение

Структура земельного фонда Кыргызстана: лес – 5.8%, водные источники – 4.4%, сельскохозяйственные угодья – 53.3%, прочие земли – 6.5%, земли населенных пунктов 30%. В структуре сельскохозяйственных угодий доминируют пастбища (87%), пашня занимает 12%, земли под многолетними насаждениями – 1%. Растениеводство на орошаемых землях является основным источником доходов для более половины населения Кыргызстана (Маматканов, Бажанова, 2017). Социально-экономический уровень населения, развитие страны и ее экономика во многом зависят от обеспеченности поливными землями. Устойчивое развитие сельскохозяйственного производства позволит решить проблему продовольственной безопасности в нашей стране (Смольянинов и др., 2013).

Кыргызская Республика располагает значительными запасами водных ресурсов. Общий годовой объем возобновляемых водных ресурсов оценивается в 46.5 км^3 (Эргешов, Топчубаев, 2017). Всего в Киргизии построено 39 водохранилищ, общий объем воды в которых составляет 22.978 км^3 (Турдиев, 2020). Общий объем имеющихся запасов воды в Кыргызстане составляет 2458 км^3, из них 650 км^3 (26.4%) хранятся в ледниках (ледники занимают 4.2% всей территории Кыргызстана), 1745 км^3 (71%) – в озерах, 13 км^3 (0.5%) составляют подземные воды, а 44.5-51.9 км^3 (2%) – речной сток (рис. 1; Эргешов, Топчубаев, 2017).

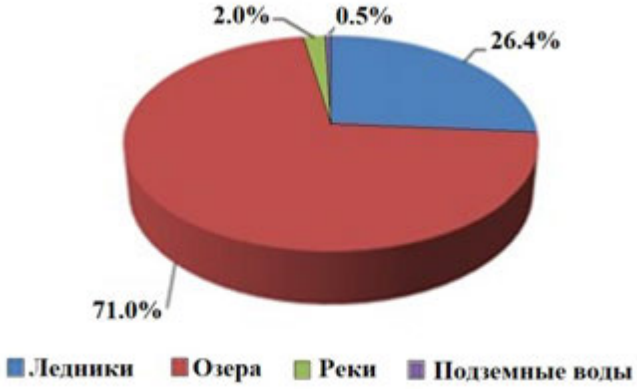


Рис. 1. Распределение водных ресурсов Кыргызстана (Эргешов, Топчубаев, 2018).

Вода в ледниках отличается высоким качеством, низкой минерализацией и пригодна для орошения и водоснабжения. Общая площадь всех ледников превышает 8000 км^2. Наиболее крупная площадь оледенения размещена в бассейне реки Сары-Джаз. В летний период за счет ледникового стока формируется значительная часть водных ресурсов рек высокогорных районов.

Результаты наблюдений показали, что состояние поверхности орошаемых земель Кыргызстана почти повсеместно является неудовлетворительным, что снижает эффективность дождевания, а применение поверхностного полива делает практически невозможным. Следует отметить, что орошение поверхностным поливом и дождеванием требует предварительной подготовки земель. Использование орошаемых земель, как главного средства производства в сельском хозяйстве, возможно лишь в комплексе с другими природными ресурсами при определенном и оптимальном их соотношении. Кроме того, постоянно возрастающие потребности общества в материальных и других видах благ требуют бережного отношения к использованию земельных ресурсов и их охраны (Чортомбаев, 2018). Сельскохозяйственное производство, основанное на орошаемом земледелии, является ведущим сектором экономики Кыргызстана и потребляет львиную долю воды – 93%.

Потребление водных ресурсов народным хозяйством Кыргыстана. Среди стран, где искусственно орошаются сельскохозяйственные земли, Кыргызстан занимает одно из лидирующих мест – 78% (рис. 2). Отмечается и неэффективное использование воды (Эргешов, Топчубаев, 2017).

По материалам статкомитета КР, общий объём стока многоводного года – 57.3 км^3. Отток за пределы республики составляет около 45 км^3 (78%), при этом вода потребляется соседними

государствами Узбекистаном, Казахстаном и Таджикистаном, а также Синьцзян-Уйгурским автономным районом Китая (Zhupankhan et al., 2018; Omarova et al., 2019; Karimov et al., 2019). При этом из общего объема потребления пресной воды в республике расходуется на орошение почти 89%, в промышленности – более 6%, коммунально-бытовом секторе – около 3% и остальная часть – в других видах хозяйственной деятельности (Zhupankhan et al., 2018).

За год 22 км^3 воды из кыргызстанских водохранилищ уходит в соседние Узбекистан и Казахстан. Это означает, что 80% накопленной воды уходит соседям. На содержание этих водохранилищ ежегодно из госбюджета выделяются огромные средства. Сегодня наше правительство должно поставить вопрос перед соседними государствами об оплате расходов на содержание водохранилищ. Наши граждане за пользование водой платят. Неправильно, что мы не берем с соседей плату за накопленную нами воду, которую они направляют на полив своих полей или других хозяйственных нужд.

Даже при СССР в обмен на воду они продавали нам по низкой цене газ, мазут, нефть по бартерной системе. Но после развала Союза эта практика была утрачена. В то же время еще не урегулирован вопрос с платой за воду. Властям следует убедить соседей, объяснить им, признать воду товаром и решить вопрос с оплатой. Наши власти не провели в этом направлении эффективную работу (Karimov et al., 2019).

В настоящее время водные ресурсы все еще используются недостаточно эффективно практически во всех водопотребляющих отраслях экономики, особенно в орошаемом земледелии. Общие потери в орошаемом земледелии достигают 35-37% от объема водоподачи сельскому хозяйству. В промышленности мало используется система оборотного и повторно-последовательного водоснабжения.

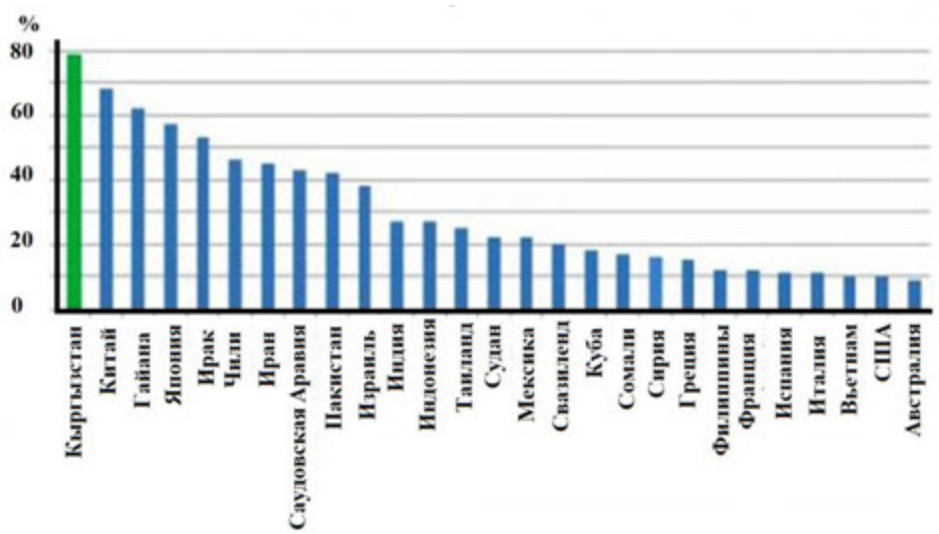


Рис. 2. Доля орошаемых сельскохозяйственных угодий в мире (Эргешов, Топчубаев, 2018).

Проведенные нами исследования показали, что на юге Кыргызстана (Ошская, Джалал-Абадская, Баткенская области) сконцентрировано 28.5 км^3. В Иссык-Кульской области сконцентрировано 11.7 км^3, в Нарынской – 13.9 км^3, в Таласской – 17.5 км^3, а в Чуйской – 4.6 км^3. В среднем на одного человека по республике приходится почти 12 км^3 поверхностных вод в год. На основе собранных статистических материалов нами установлено, что за счет поверхностных вод покрывается водопотребность народного хозяйства республики до 90-92%, из них Иссык-Кульская область обеспечена на 95.6%, Нарынская – на 98.1%, а Ошская, Джалал-Абадская и Баткенская – на 89.1%, Таласская – на 97.7% и Чуйская – на 93.4% (Zhupankhan et al., 2018).

Сейчас в Кыргызстане идет активный поиск осмысленной модели экономического развития страны. При этом важно использовать природный потенциал страны в нужном направлении. Как отмечает К. Иманалиев «в международной политике не всегда выигрывает тот, у кого много оружия. Зачастую побеждает тот, кто умеет правильно выдвигать условия» (Иманалиев, 2011, с. 25).

Кроме того, Кыргызстан также получает воду для орошения из гидротехнических сооружений для водозабора и аккумуляции стока, находящихся в собственности соседних республик: Узбекистана - Кампырраватское (Андижанское) и Кассансайское водохранилища, каналы Южный Ферганский, Савай, Пахтаабад, Большой Ферганский, общим объемом 385 млн. м^3, Таджикистана - Кайраккумское водохранилище – 77 млн. м^3 (табл. 1; Семенов, Семенов, 2021).

В соответствии с перечисленными документами Кыргызстан имеет право на использование 24% воды, общий лимит её составляет 11.9 км^3, в том числе по бассейну реки Сырдарья – 4.88 км^3, рек Чу – 3.85 км^3, Талас и Куркуреу – 1.0 км^3, Амударьи – 0.45 км^3 в год (табл. 2).

В Кыргызстане из-за неграмотно построенных ирригационных систем допускают большие потери воды. Так, уже в начале устья во многих регионах не установлены водораспределительные ирригационные системы (Omarovaetal., 2019). Кыргызстан, кроме ирригационного использования, может продавать воду другим странам, и в международной практике цена 1 м^3 воды составляет от 0.05 до 0.12 долл. США. Арабские страны обеспечивают население питьевой водой за счет ее импорта из других стран мира. Следует отметить, что Кыргызстан имеет качественную горную воду, и ее с успехом можно экспортировать в те страны, которые нуждаются в ней (Абдымаликов, 2017).

Взаимозависимость стран Центральной Азии в сфере совместного использования водных ресурсов характеризуется большим количеством участников, а также неравномерным характером распределения водных ресурсов. Основной объем водных ресурсов региона относится к бассейну Аральского моря, рр. Сырдарья и Амударья, которые связывают между собой шесть стран: Казахстан, Кыргызстан, Таджикистан, Туркменистан, Узбекистан и Афганистан. По уровню обеспеченности водными ресурсами страны региона можно разделить на две группы.

Первая группа: Таджикистан и Кыргызстан, в пределах которой формируются около 76.7% общего поверхностного стока Аральского моря (51.5 % и 25.1% соответственно).

Вторая группа: Казахстан (2.2%), Узбекистан (10.6%), Туркменистан (1.2%; Omarova et al., 2019).

Таблица 1. Объемы воды, получаемой Кыргызстаном из водохозяйственных объектов межгосударственного пользования соседних государств, млн. м^3 (Национальный доклад ..., 2012).

Название	**Государство, от которого получает воду Кыргызстан**	**Годовой объем получаемой воды, млн. м^3**
Андижанское водохранилище, в т.ч.:	Узбекистан	269.0
Правобережный Кампырраватский канал	Узбекистан	193.0
Южный Ферганский канал	Узбекистан	32.0
Савай	Узбекистан	44.0
Пахтаабад	Узбекистан	10.0
Подпитывающий Керкидонское водохранилище	Узбекистан	17.0
Большой Ферганский канал	Узбекистан	10.0
Кассансайское водохранилище	Узбекистан	19.0
Большой Наманганский канал	Узбекистан	60.0
Каскад Аркинских насосных станций из Кайраккумского канала	Таджикистан	77.0
Всего		462.0
В том числе	От Узбекистана	385.0
В том числе	От Таджикистана	77.0

В целях решения проблем комплексного сбалансированного рационального использования богатейших водных ресурсов Кыргызстана необходимо постоянно поддерживать согласованный режим межгосударственного водораспределения на основе взаимовыгодного сотрудничества

центральноазиатских государств. На базе использования подземных водных ресурсов в республике сооружено порядка 5.6 тыс. водозаборных скважин, обеспечивающих водоотбор порядка 4.9 млн. м^3 в сутки, из них на юге Кыргызстана – 1.7 млн. м^3 и на севере – 3.2 млн. м^3/сутки (Маматканов, Бажанова, 2017). В связи с этим можно предложить некоторые меры по решению вышеуказанных проблем:

1. Для улучшения технического состояния водохозяйственных систем, повышения уровня внедрения новых технологий орошения, повышения отдачи от гектара и кубометра воды *необходимо расширить* применение рациональных методов орошения и агротехники, способствующих эффективному использованию водных и земельных ресурсов. Стимулировать внедрение водосберегающих способов орошения (капельное орошение, подземное орошение, полив по полосам и бороздам).

Таблица 2. Лимиты Кыргызской Республики в разрезе главных речных бассейнов (Национальный доклад ..., 2012).

Бассейн реки, озера	**Сток, формируемый на территории Кыргызстана, км^3**	**Кыргызстан**	
		Лимит, км^3	**% от стока**
Талас + Куркуреу	1.74	1.00	57
Чу	5.0	3.85	77
Иссык-Куль	4.65	1.56	33
Или (Каркыра)	0.36	0.18	50
Тарим	6.15	–	–
Амударья	1.93	0.45	22
Сырдарья	27.4	4.88	18
Всего	47.2	11.9	25

2. Для сохранения плодородия почвы требуется создание принципиально новых экологически безопасных, ресурсосберегающих способов орошения. При этом одним из важнейших условий является *снижение расхода* воды на единицу произведенной продукции (Семенов, Семенов, 2021).

3. *Реформирование экономического механизма* водных отношений должно быть направлено на последовательное развитие принципа платности водопользования на основе гибкого регулирования тарифной политики. Должно быть предусмотрено постепенное *достижение самоокупаемости* затрат на эксплуатацию и техническое обслуживание водохозяйственных систем с учетом динамики реальной платежеспособности водопользователей.

Кыргызская Республика имеет возможность «простимулировать» процесс экономии воды в регионе Центральной Азии, помогая братским странам «озеленить» весь сектор водопользователей. Республика располагает запасами около 50 км^3 в год поверхностного речного стока, 13 км^3 в год запасов подземных вод, около 1745 км^3 воды в озерах и 650 км^3 пресной воды в ледниках. Киргизия использует на свои нужны лишь 12-17% этих запасов и пока отстает от остальных среднеазиатских государств по темпам прироста новых земель, хотя наличие водных ресурсов и качественного земельного фонда позволяет увеличить площадь орошаемых земель страны в 2.5 раза (Турдиев, 2020).

4. В ближайшие 3 года предполагается довести тарифы за услуги по поставке оросительной воды из магистральных каналов до 8-10 тыйынов за 1 м^3, дальнейшее повышение не должно превышать 20% (Zhiltsov et al., 2018).

В Кыргызской Республике, в целях решения проблем обеспечения населения питьевой водой принят ряд законодательных актов (Законы «О воде», «О питьевой воде», Водный Кодекс), создан Национальный Совет по воде при Правительстве Кыргызской Республики. Однако в республике нет единого государственного органа, координирующего деятельность отраслевых и территориальных органов государственной власти и местного самоуправления в сфере жилищно-коммунального хозяйства. Тарифы на услуги по подаче воды устанавливает антимонопольный комитет (Alamanov, Markova, 2020).

В долгосрочной перспективе, стратегически важные водохозяйственные сооружения будут содержаться за счет государственного бюджета, а тарифы на услуги по водоподаче из приватизированных систем должны быть дифференцированными ввиду различий в себестоимости этих услуг.

Выводы

Кыргызстан является действительно «водной державой». Государство должно использовать водные ресурсы в целях экономического развития страны. Реформирование экономического механизма водных отношений должно быть направлено на последовательное развитие принципа платности водопользования на основе гибкого регулирования тарифной политики. Должно быть предусмотрено постепенное достижение самоокупаемости затрат на эксплуатацию и техническое обслуживание водохозяйственных систем с учетом динамики реальной платежеспособности водопользователей.

Сегодня создание и продвижение мирового бренда Кыргызстана по питьевой и лечебной воде является важным. Требуется активно пропагандировать лучшие питьевые и минеральные воды Кыргызстана, что позволит выйти на мировой рынок.

Систематическое ведение анализа и изучения потенциалов и возможностей использования водных ресурсов позволит разработать и предложить странам региона различные альтернативы институциональных механизмов управления трансграничными Водно-энергетическими ресурсами. Остро стоит необходимость подготовки профессиональных кадров, способных управлять водными ресурсами, приумножая экономическую и инвестиционную привлекательность Кыргызстана. Необходимо уделять больше внимания развитию искусства переговоров, посредничества и арбитража.

Финансирование. Исследования проводились в рамках научно-исследовательской программы кафедры экономики, менеджмента и туризма Нарынского государственного университета им. С. Нааматова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абдымаликов К. 2010. Экономика Кыргызстана на переходном этапе. 2-е изд. Бишкек: Бийиктик. 560.

Дубенок Н.Н. 2020. Научные подходы к решению проблем мелиоративного комплекса нечерноземной зоны Российской Федерации // Современное состояние и инновационные пути развития мелиорации и орошаемого земледелия. С. 23-35.

Жильцов С., Айнур Б. 2015. Политика стран Центральной Азии в области использования водных ресурсов трансграничных рек. Центральная Азия и Кавказ. Т. 18. № 1. С. 90-100.

Иманалиев К. 2011. Водная стратегия Кыргызстана. Бишкек: Слово Кыргызстанана. [Электронный ресурс https://for.kg/news-173308-ru.html (дата обращения 10.10.2021)].

Национальный доклад о состоянии окружающей среды Кыргызской Республики за 2006-2011 годы. 2012. 123 с.

Маматканов Д.М., Бажанова Л.В. 2017. Трансграничные водные ресурсы Центральной Азии и проблемы эффективного использования // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии. Т. IV. С. 67-79.

Национальной стратегии устойчивого развития Кыргызской Республики на 2013-2017 гг. 2013. В редакции Указа Президента КР от 27 сентября 2013 года УП № 194. [Электронный ресурс http://cbd.minjust.gov.kg.act.view.ru-ru (дата обращения 10.10.2021)].

Семенов С.Р., Семенов Н.С. 2021. Формирование экономических и информационных отношений в сельскохозяйственном секторе Кыргызской Республики // Известия Национальной Академии наук Беларуси. Серия аграрных наук. Т. 59. № 2. С. 151-159.

Смольянинов В.М., Шмыков В., Матвеева Л.И. 2013. Орошение как фактор устойчивого развития сельскохозяйственного производства Воронежской области // Вестник Российского университета математики. Т. 18. № 2. С. 697.

Турдиев Т.И. 2020. Повышение потенциала природного капитала региона как стратегический вектор для экологической безопасности Кыргызстана // Теория и практика стратегирования. С. 63-67.

Чортомбаев У.Т. 2016. Роль и значение орошаемых земель в развитии аграрного сектора Кыргызской Республики // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. Т. 1. № 57. С. 8-10.

Чортомбаев У.Т. 2018. Влияние государственного земельного кадастра на эффективное использование орошаемых земель в Кыргызской республике // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. Т. 3. № 71. С. 23-35.

Шатманов О.Т., Жанбиров Ж.Г., Турсымбекова З.Ж., Каримов Т.Х., Исанова Н. 2016. Водные ресурсы Кыргызской Республики // Актуальные проблемы технических наук в России и за рубежом. С. 148-151.

Эсенаманов А. Использование водных ресурсов в сельском хозяйстве Кыргызской республики // Проблемы современной науки и образования, 2016, Т. 24, № 66, С. 33-39.

Эргешов А.А., Топчубаев А.Б. 2017. Современное состояние и использование водных ресурсов южного Кыргызстана // Архивариус. Т. 2. № 17. С. 18-21.

Юсупова Г. 2014. Водные ресурсы Кыргызской Республики: Экономико-Стратегические преимущества // Reforma. Т. 3. № 62. С. 23-27.

Alamanov S.K., Markova E.A. 2020. Water bodies and water resources of the Kyrgyz Republic and challenges in their transboundary use // Water Resources Management. Central Asia. P. 99-110.

Bekturganov Z., Tussupova K., Berndtsson R., Sharapatova N., Aryngazin K., Zhanasova M. 2016. Water related health problems in Central Asia − A Review // Water. Vol. 8. No. 6. P. 219.

CFS. 2020. Committee on World Food Security "About the HELP", 15th report. [Электронный ресурс https://www.fao.org/cfs/cfs-hlpe (дата обращения 04.07.2020)].

Omarova A.,Tussupova K., Hjorth P., Kalishev M., Dosmagambetova R. 2019. Water supply challenges in rural areas: a case study from Central Kazakhstan // International Journal of Environmental Research and Public Health. Vol. 16. No. 5. P. 688.

Karimov T.K., Abdykalykov A.A., Karimova M.T., Kyzy N.B., Maatkulova J. 2019. Analysis of Groundwater Resources in the Kyrgyz Republic // Journal of Environmental Management and Tourism. Vol. 10. No. 5(37). P. 984-990.

Zhiltsov S.S., Zonn I.S., Shtol V.V., Egorov V.G. 2018. Contemporary water policy of Kyrgyzstan. Water Resources in Central Asia: International Context. Springer, Cham. P. 187-200.

Zhupankhan A., Tussupova K., Berndtsson R. 2018. Water in Kazakhstan, a key in Central Asian water management // Hydrological Sciences Journal. Vol. 63. No. 5. P. 752-762.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2022, том 28, № 2 (91), с. 94-101

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 556.311.31

ПРОГНОЗНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ПРЕДГОРНОМ ДАГЕСТАНЕ

© 2022 г. В.М. Кондаков, И.М. Газалиев, Л.М. Курбанова, А.С. Курбанисмаилова, А.Ш. Гусейнова

Институт геологии Дагестанского федерального исследовательского центра РАН
Россия, 367010, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Ярагского, д. 75. E-mail: geol52@mail.ru

Поступила в редакцию 28.10.2021. После доработки 30.11.2021. Принята к публикации 10.01.2022.

Определение прогнозно-эксплуатационных ресурсов подземных пресных вод (ПЭРПВ) на территории гидрогеологической структуры третьего порядка – системы малых артезианских бассейнов (СМАБ) – проведено с учетом дефицита воды в Предгорном Дагестане в условиях сильно засушливого климата. В геологическом отношении исследуемый район относится к третичной складчатости, где за последние десятилетия были проведены работы по поискам, разведке и оценке запасов и прогнозных ресурсов использования пресных подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Проведено обобщение предыдущих исследований и определение перспективных гидрогеологических районов с подсчетом прогнозных ресурсов использования пресных подземных вод, особенно переуглубленных широких долин рек, переходящих в конусы выноса и образующих предгорные шлейфы. Обработаны данные по метеорологической, гидрогеологической и геологической изученности территории, химическому составу подземных вод и литологии покровных и водоносных толщ; выявлены перспективные участки разведки подземных вод, области их питания, транзита и разгрузки для выработки расчетной схемы. Проведен анализ работы действующих водозаборов на утвержденных запасах и рассмотрена возможность приращения ПЭРПВ за пределами месторождений. Приведены гидрогеологические условия региона, СМАБ, дана краткая характеристика ранее разведанных месторождений подземных вод, выделены перспективные участки для разведки подземных вод, где рассчитаны их прогнозно-эксплуатационные ресурсы. Для ограниченных синклинальных структур верхне-среднесарматских отложений ПЭРПВ определены с условием инфильтрации атмосферных осадков. Величина их составила 25.6 тыс. м^3/сут. для синклинальных артезианских межгорных бассейнов, для чокракских, чокрак-тарханских и конк-караганских песчано-глинистых отложений.

Ключевые слова: Восточно-Предкавказский артезианский бассейн (ВПАБ), пластовые и блоково-пластовые напорные воды, система малых артезианских бассейнов (СМАБ), Предгорный Дагестан, ресурсы пресных подземных вод, отложение рек, гидрогеологические условия.

DOI: 10.24412/1993-3916-2022-2-94-101

Объекты и методы исследования

За последние 50 лет были проведены детальные поиски и разведка пресных подземных вод в структурной территории Предгорного Дагестана – системе малых артезианских бассейнов (СМАБ). Территория Предгорного Дагестана относится к густо заселенным. В этой связи проанализирован материал по характеристике гидрогеологических условий перспективных участков и районов, а также месторождений подземных вод. С учетом методических рекомендаций (Биндеман, Язвин, 1970; Островский и др., 1990; Методическое письмо ..., 1997; Оценка обеспеченности ..., 1995; Мироненко, 2001; Боревский и др., 1979, 1989) подсчитаны прогнозно-эксплуатационные ресурсы пресных подземных вод для выделенных гидрогеологических районовна площади малых артезианских бассейнов (рис. 1).

Определение ресурсов подземных вод по инфильтрации атмосферных осадков включает естественные ресурсы подземных вод и возобновление их запасов в естественных условиях (Ресурсы

поверхностных вод СССР, 1966; Справочник по климату СССР, 1971). Определение для водоносных комплексов меотических, сарматских, конкско-караганских, средне-верхнечетвертичных отложений путем учета величины инфильтрации атмосферных осадков в области питания водоносных горизонтов производилось по следующей формуле (Geng et al., 2020; Ji et al., 2021; Sarmientoa et al., 2009; Кондаков, Кондакова, 2019):

$$Q_e = MF \quad (1),$$

где Q_e – естественные ресурсы, литр/секунду (л/с), M – модуль подземного стока, л/с·км, F – площадь области питания водоносного горизонта, км^2.

Для выявления общего подземного стока и водных ресурсов определяется модуль подземного стока по формуле:

$$M = 0.03 \cdot a \cdot X \quad (2),$$

где a – коэффициент подземного стока (отношение инфильтрационных осадков к годовому количеству осадков – 0.3), X – годовое количество осадков, 0.03 – коэффициент перевода мм/год в л/сек.

В итоге конечная формула имеет вид:

$$Q_e = 0.03 \cdot 0.3 \cdot X \cdot F \quad (3),$$

где F– площадь, км^2.

Рис. 1. Картосхема гидрогеологических районов (составлена по материалам М.К. Курбанова (2001)).

Ресурсы подземных вод по береговым водозаборам выявлены по линейному модулю, характеризующему динамику запасов воды в водоносном горизонте в естественных условиях.

Гидрогеологические условия водоносных горизонтов верхне-среднечетвертичных аллювиальных отложений по долинам рек отличаются значительной мощностью – до 80 м. При этом отмечено уменьшение мощности от предгорий в сторону Каспийского моря.

Горизонт водообилен, дебиты скважин и родников достигают 100 л/с (Джепельские родники – 228 л/с), но в большинстве случаев составляют 10-30 л/с. Коэффициент фильтрации изменяется от 12 до 100 м/сут., коэффициенты водопроводимости – 1225-9000 м^2/сут., коэффициент уровня проводности – от 2·10 до 6·10 м^2/сут. Воды комплекса имеют большое народнохозяйственное значение, к ним приурочены месторождения пресных подземных вод – Присамурское, Уллучаевское

и крупнейшее на Северном Кавказе – Сулакское.

Широкое распространение имеет водоносный комплекс сарматских отложений, который дифференцируется на верхнесарматский и среднесарматский водоносные горизонты, где водовмещающими породами являются аргиллитоподобные глины. Общая мощность отложений составляет порядка 700 м, где среднесарматские, отличающиеся максимальными запасами подземных вод, залегают на глубинах 56-640 м, а в северной части предгорий погружаются на глубину до 2000 м. Минерализация колеблется в широких пределах от пресных до рассолов на севере и северо-востоке.

Результаты и обсуждение

Распределение подземных вод в регионе характеризуется закономерной приуроченностью месторождений к речным системам в области выхода их в равнинную зону. К наиболее крупному месторождению относится Уллучаево-Дербентское, где эксплуатационные запасы достигают более 40 тыс. м^3/сутки.

Исследованная территория представляет собой неширокую речную долину (до 1 км шириной), сложенную аллювиальными валунно-галечниковыми отложениями с песчаным заполнителем верхне-среднечетвертичного возраста (рис. 2).

Коренные породы представлены майкопскими глинами и рассматриваются как водоупор. Качество подземных вод хорошее, минерализация варьирует в пределах 0.14-0.7 г/дм^3.

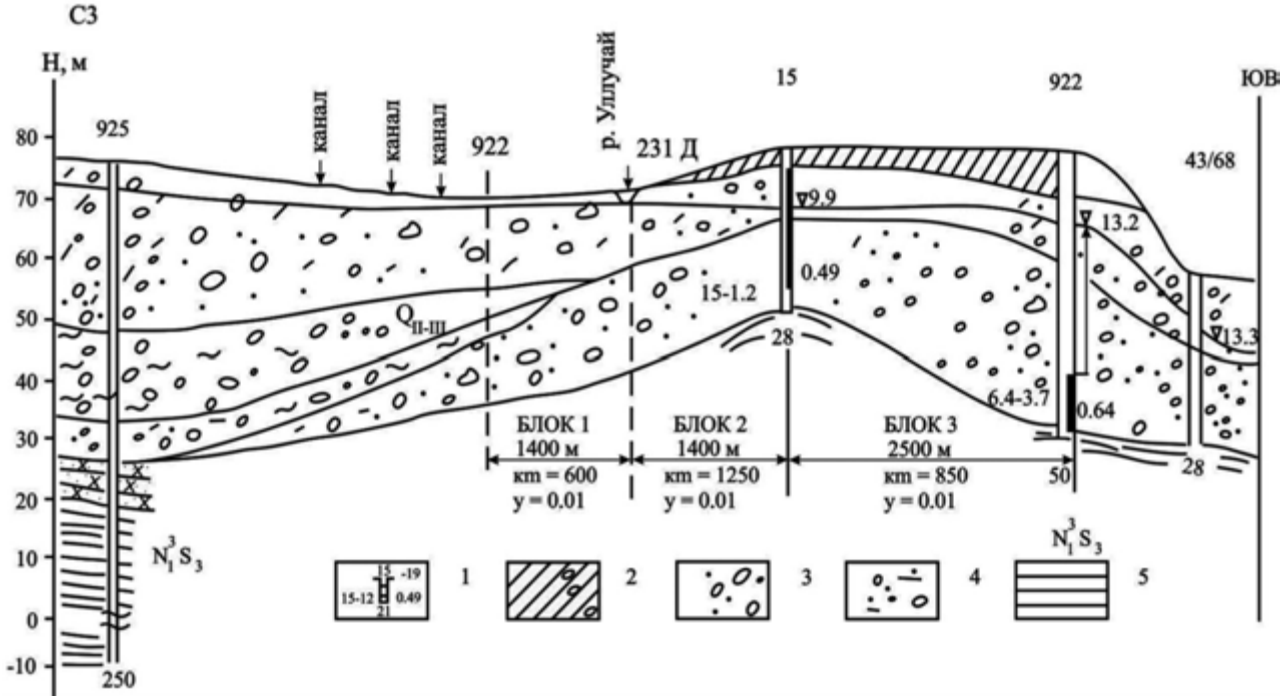


Рис. 2. Гидрогеологические условия и расчетная схема конуса выноса р. Уллучай.

Глубина залегания уровня грунтовых вод находится в пределах 0.7-8.0 м. Средняя мощность водоносного слоя равна 31 м, а коэффициент водопроводимости – 1100 м^2/сут. Водные ресурсы месторождения интенсивно эксплуатируются. В последние годы водоотбор превышал утвержденные запасы подземных вод, что привело к усилению засушливости микроклимата и усыханию лесных массивов. Водоносные горизонты в прилегающей к месторождению части г. Дербента приурочены к артезианскому моноклинальному склону. Они представлены тремя выдержанными слоями известняков и песчаников верхне- и средне-четвертичного возраста.

Верхнесарматский водоносный горизонт залегает на глубине 3-8 м, суммарная мощность водоносных слоев – 40-45 м.

Минерализация воды изменяется в пределах 0.8-1.5 г/дм. Отмечается повышенное содержание нитратов (выше ПДК в 1.5-2.0 раза) и марганца – до 0.18 мг/дм^3.

Второй и третий водоносные горизонты залегают соответственно в интервале глубин 144-195 и 290-308 м. Современный пьезометрический уровень находится в интервале глубин 15-60 м. Удельные дебиты составляют: для второго горизонта – 0.1-0.6 л/с·м, а для третьего – 0.4-0.8 л/с·м. Минерализация подземных вод составляет 1 г/дм^3. Также как и для первого горизонта отмечается загрязнение нитратами. Общий коэффициент водопроводимости для трех водоносных горизонтов составляет 190 м^2/сут. Коэффициент пьезопроводности для второго и третьего горизонтов равен $3\cdot10^3$м^2/сут.

Подземные воды Уллубиевского и Присамурского месторождений объединены в одну группу по показателям, характеризующим гранулометрический состав, общий дебит, коэффициент водопроницаемости и др.

Уллубиевский участок приурочен к отложениям верхнесарматского яруса с образованием синклинальной структуры, погружающейся под воды Каспийского моря. Водоносные породы представлены известняками-ракушечниками, залегающими в интервале глубин 8-15, 46-173 и 93-245 м и разделенными прослоями глин мощностью от 18 до 60 м. Удельные дебиты скважин составляли: для I слоя – 1 л/с·м, для II слоя – 0.3-0.4 л/с·м, для III слоя – 0.5-1.6 л/с·м. Общий коэффициент водопроводимости равен 90 м^2/сут., а коэффициент пьезопроводности для II и III слоев – $4\cdot10^4$ м^2/сут. Сухой остаток солей для всех трех слоев составляет 2.9-3.3 г/дм^3, где содержание сульфатов превышает ПДК.

Химический состав воды – сульфатный, кальциевый, жесткость 7-10 мг/экв. Отдельно выделяется гидрогеологический район, ограниченный синклинальной структурой верхних сарматских отложений, он протягивается на приморских террасах в перпендикулярном направлении. Исследуемые скважины имеют удельный дебит 12.5 и 1.7 л/с, где коэффициент водопроводимости определяется по приблизительной формуле КМ=120q и равен, соответственно, 1500 и 204 м^2/сут. Согласно геологическому разрезу, а также опробованной скважине, ее интерполяции на русло р. Уллучай в расчетный створ, получается ПЭРПВ:

$$Q_p = (1000 + 200) /2 \cdot 1400 + (1500 + 1000) / 2 \cdot 1400 + (1500 + 200) / 2 \cdot 2500] \cdot 0.01 = 47.15 \text{ тыс. м}^3\text{/сут.}$$

Естественные ресурсы данного участка составляют: по хазарохвалынскому водоносному комплексу 29100 м^3/сут., а также по II и III блокам верхнеапшеронского водоносного комплекса (рис. 3) – 18.8 тыс. м^3/сут. На экологические пропуски горизонта грунтовых вод отводится 14100 м/сут. Для засушливых условий почв предгорий Дагестана использование ресурсов этого горизонта имеет большое значение (Rybnikova, Rybnikov, 2016; Рыбников, Рыбников, 2018; Залибеков, 2018; Zalibekov et al., 2019).

В итоге ПЭРПВ южной части Уллубиево-Присамурского месторождения составляют по естественным ресурсам четвертичных отложений, с учетом экологических попусков, и по обводненным верхнесарматским отложениям следующее:

$$Q_p = 23.0 + 33.8 + 16.0 = 72.8 \text{ тыс. м}^3\text{/сут.}$$

По административным районам ПЭРПВ распространены неравномерно с общей тенденцией увеличения общего дебита в условиях возобновляемой структуры на покровных четвертичных глинистых отложениях в верхней части месторождений. В Буйнакском районе, где распространены покровные четвертичные глинистые образования и большой уклон рельефа, коэффициент инфильтрации атмосферных осадков равен 0.15.

Поэтому ПЭРПВ для конкско-караганских водоносных отложений (гидрогеологический район III-6) равны:

$$Q_p = 0.03 \cdot 0.15 \cdot 460 \cdot 55 = 113.85 \text{ л/с или } 9837 \text{ тыс. м}^3\text{/сут. (район Исти-Су);}$$

а для чокрак-тарханских водоносных отложений:

$$Q_p = 0.03 \cdot 0.15 \cdot 460 \cdot 76 = 157.32 \text{ л/с или } 13.592 \text{ м}^3\text{/сут.}$$

Минерализация подземных вод конкско-караганских отложений составляет 1-1.5 г/дм^3, чокрак-тарханских – 1.5-3.0 г/дм^3.

В целом по региону определены прогнозно-эксплуатационные ресурсы подземных вод (табл.) и их защищенность по гидрогеологическим районам предгорий Дагестана. Вовлечение запасов подземных вод в общий круговорот влаги в биосфере является важным фактором борьбы с засухой и аридизацией. Максимальные показатели эксплуатационных ресурсов выявлены в районе развития напорно-безнапорных подземных вод в валунно-галечниковых толщах верхнеапшеронского возраста.

Более 80% их запасов характеризуется низкой минерализацией <1.0 г/дм^3. Этот показатель определяет возможность обеспечения влагой засушливых земель на площади более 1.0 млн. га (Залибеков и др., 2014, 2017; Мамаев и др., 2018).

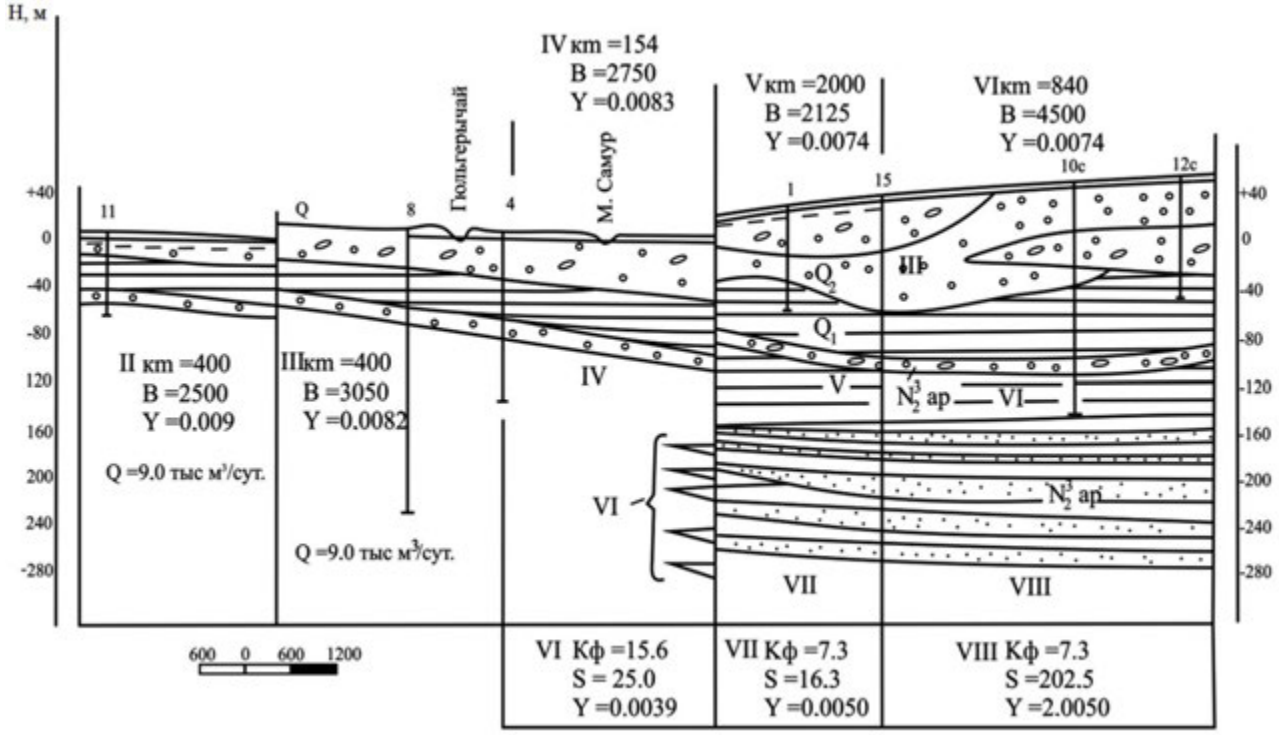


Рис. 3. Расчетный створ к подсчету ресурсов апшеронских водоносных горизонтов. *Условные обозначения:* km – коэффициент водопроводимости, м^2/сут., B – ширина потока, У – уклон, кф – коэффициент фильтрации, м/сут., S – площадь сечения, м^2.

Положительной оценкой определяется защищенность от загрязнения, засоления, испарения и других воздействий. Из остальных структур по значимости и величине идут районы развития напорно-безнапорных подземных вод в известково-песчаных толщах сарматского возраста. Важной особенностью рассматриваемой структуры является минерализация подземных вод ниже средней степени, где ее величина не превышает 1.5-3.0 г/дм^3.

Рассматриваемый район подземных вод в предгорьях занимает максимальную площадь 0.227 тыс. км^2, что позволяет отметить стабильность запасов и наличие возможностей самовосстановления. Эксплуатационные ресурсы подземных вод создают реальную основу их использования при существующей системе добычи артезианских вод.

Выводы

Приведена краткая характеристика ранее разведанных месторождений подземных вод, а также гидрогеологических условий Предгорного Дагестана, системы малых артезианских бассейнов, выделены перспективные участки для разведки подземных вод, где по линейному модулю для береговых водозаборов и инфильтрации среднемноголетних сумм осадков рассчитаны прогнозно-эксплуатационные ресурсы подземных вод. Для ограниченных синклинальных структур верхнесарматских отложений гидрогеологический район (ГР) – III-4 ПЭРПВ определялись с условием инфильтрации атмосферных осадков и составили 25.6 тыс. м^3/сут.; для синклинальных артезианских межгорных бассейнов, для чокракских, чокрак-тарханских песчано-глинистых отложений с учетом коэффициента инфильтрации – 0.15 ПЭРПВ составили 39.28 тыс. м^3/сут. Для ГР III-1 – валунно-галечниковых песчано-глинистых отложений оценка ПЭРПВ рассчитывалась за счет удвоения фактического водоотбора и экстраполяции понижения, для ГР III-2 с учетом коэффициента инфильтрации и нормы осадков, включая площади выхода меотических отложений.

Таблица. Прогнозно-эксплуатационные ресурсы подземных вод и их защищенность по гидрогеологическим районам по Республики Дагестан.

№ № п/п	Структуры порядка гидрогеологического района и его индекс	Площадь, тыс. км^2	ПЭРПВ, тыс. м^3/сут							Средний модуль ПЭРПВ, л/с км^2	ПЭРПВ по условиям защищенности					
			При площадной системе	При линейной системе	В том числе с минерализацией, г/дм^3						Не защищенные		Условно защищенные		Защищенные	
					Всего	До 1	1-1.5	1.5-3	3-10		Площадь, м^2	ПЭРПВ, тыс. м^3/сут. / модуль л/с км	Площадь, км^2	ПЭРПВ, тыс. м^3/сут. / модуль л/с км	Площадь, км^2	ПЭРПВ, тыс. м^3/сут. / модуль л/с км
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
II	II-III. Система малых артезианских бас-сейнов (СМАБ)															
1	II-III-1. Район развития напорно-безнапорных вод в валун.-гал. песчан.-глин. толщах акчагыл-апшер.	0.103	13.4	–	13.4	13.4	–		–		–	–			0.103	13.40/1.5
2	II-III-2. Район развития напорно-безнап. ПВ в песч.-глин. толщах меоти-ческого возраста	0.035	12.300	–	12.300	12.300	–	–	–		–	–	0.035	12.3/4.0	–	–
3	II-III-3. Район разв. напорно-безнап. ПВ в валун-гал. толщах верхнеап. (кусарская свита) и верхне-среднечетв. возраста	0.227	218.60	–	218.60	224.10	–	–	–	–	0.227	133.9/6.83	–	–	0.227	84.7
4	II-III-4. Район развития напорно-безнап. ПВ в извест-няк.-песчан. толщах верхне-средесармат. возраста	0.208	25.6	–	25.6		–	25.6								25.6
5	II-III-5. Район развития напор-безнап. ПВ в песчаноглин. толщах конск-караган. возраста	0.091	13.8	–	13.8	–	13.8	–			–	–	–	–	0.091	13.8
6	II-III-6. Район развития напорно-безнап. ПВ в песчаниках, песчан-глин. толщах чокрак-тархан. возраста	0.174	25.5	–	25.5	–	–	25.5			–	–	–	–	0.174	25.5
7	II-III-7. Долины развития безнапорных ПВ в валун.-гал. песчан. отложений, входящих во ВПАБ[1]															
а)	р. Губден-Озень		4.8		4.8	4.8								4.8		
б)	р. Аксай, Ярык-Су		–	16.4	16.4	16.4	–	–	–			16.4				

[1] ВПАБ – – Восточно-Предкавказский артезианский бассейн.

Продолжение таблицы.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
в)	р. Акташ (Казбековский район)		–	7.8	7.8	7.8	–	–	–			7.8				
г)	р. Гамри-Озень (Каякентский район)		–	24.9	24.9	24.9	–	–	–			24.9				
д)	р. Арт-Озень (Каякентский район)		–	12.12	12.12	12.12	–	–	–			12.12				
е)	р. Уллучай (Кайтагский район)		–	39.3	39.3	39.3	–	–	–			39.3				
ж)	р. Гюльгерычай (Сулейман-Стальский район)		–	34.2	34.2	34.2	–	–	–			34.2				
	Итого по структуре III		**314.0**	**134.7**	**448.7**	**383.8**	**13.8**	**51.1**				**268.6**		**17.1**		**163.0**

Для Самур-Гюльгерычайской аллювиально-пролювиальной равнины расчет проводился по блокам с поправкой на экологические пропуски.

Получены параметры гидрогеологических условий, представленных четвертичными аллювиальными отложениями. Они обладают значительными запасами воды с широким диапазоном минерализации, представлены прогнозно-эксплуатационные ресурсы подземных вод региона, доступные для использования в различных отраслях народного хозяйства; источники формирования ресурсов пресных подземных вод, включая перспективные участки по административным районам.

Положительное значение имеют выявленные географические координаты и размеры земельных участков, подверженных аридной деградации.

Использование выявленных параметров подземных вод определяется в качестве важного источника пресных подземных вод для применения мероприятий по орошению, обводнению сельскохозяйственных угодий, расположенных в условиях аридного климата.

Финансирование. Работа выполнена в рамках тем государственного задания Института геологии ДФИЦ РАН (№ гос. регистрация АААА-А17-117021310203-3) по Теме «Эколого-геохимические особенности подземных вод Северо-Восточного Кавказа (Дагестан). Природные и антропогенные факторы загрязнения».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Биндеман Н.Н., Язвин Л.С. 1970. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод. М.: Недра. 216 с.

Боревский Б.В., Самсонов Б.Г., Язвин Л.С. 1979. Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек. М.: Недра. 326 с.

Боревский В.В., Дробноход Н.Й., Язвин Л.С. 1989. Оценка запасов подземных вод. Киев: Выщашк. 407 с.

Залибеков З.Г. 2018. О закономерностях формирования продукционных ресурсов засоления почв // Аридные экосистемы. Т. 24. № 2. С. 3-10. [*Zalibekov Z.G.* 2018. Regularities of the Formation of Production Resources on Saline Soils of the Terek-Kuma Lowland // Arid Ecosystems. Vol. 8. No. 2. P. 83-88.]

Залибеков З.Г., Биарсланов А.Б. 2014. Концепция биологического разнообразия почв и основные черты современного этапа ее развития // Аридные экосистемы. Т. 20. № 1. С. 5-17. [*Zalibekov Z.G., Biarslanov A.B., Galimova U.M.* 2014. The concept of soil biodiversity and the main features of modern stage of its development // Arid Ecosystems. Vol. 4. No. 1. P. 11-19.]

Залибеков З.Г., Мамаев С.А., Биарсланов А.Б. 2017. Региональные закономерности распространения почв дельтовых экосистем и их применение на разных континентах // Аридные экосистемы. Т. 23. № 2. С. 50-56. [*Zalibekov Z.G., Biarslanov A.B., Mamaev S.A., Asgerova D.B., Galimova U.M., Sultankhamedov M.S.* 2017. Regional distribution patterns of soils in delta ecosystems and their potential use on different continents // Arid Ecosystems. Vol. 7. No. 2. P. 73-79.]

Кондаков В.М., Кондакова Н.В. 2019. Интерпретация фильтрационных свойств водоносных песков // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. № 2 (77). С. 50-54.

Курбанов М.К. 2001. Гидротермальные и гидроминеральные ресурсы Восточного Кавказа и Предкавказья. М.:

Наука. 260 с.

Мамаев С.А., Ибаев Ж.Г., Сулейманов В.К., Гусейнова А.Ш., Курбанисмаилова А.С., Абдулганиева Т.И., Мамаев А.С. 2018. Гидрогеолого-математическая модель формирования и управления ресурсами и качеством пресных подземных вод Терско-Кумского артезианского бассейна // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. № 2 (73). С. 62-71.

Методическое письмо по составлению дополнений к проектной документации II этапа работы «Оценка обеспеченности населения Российской Федерации ресурсами подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения» 1997. М.: Гидрогеоэкологическая научно-производственная и проектная фирма «ГИДЕК». 24 с.

Мироненко В.А. 2001. Динамика подземных вод. М.: Московский государственный горный университет. 509 с.

Оценка обеспеченности населения Российской Федерации ресурсами подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Методические рекомендации по проведению второго этапа работ. 1995. М. 72 с.

Островский Л.А., Антыпко Б.Е., Конюхова Т.А. 1990. Методические основы гидрогеологического районирования территории СССР. М.: Недра. 240 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Закавказье и Дагестан. 1966 / Ред. Н.М. Алюшинская, П.С. Кузин, В.В. Куприянов. Л.: Гидрометеоиздат. Т. 9. Вып. 3. 299 с.

Рыбникова Л.С., Рыбников П.А. 2018. Гидрогеологические исследования в горнопромышленных районах на постэксплуатационном этапе // Подземные воды Востока России. Материалы XXII Совещания по подземным водам Сибири и Дальнего Востока с международным участием. Новосибирск: ИПЦ НГУ. С. 403-408.

Справочник по климату СССР. 1971. Дагестанская АССР, Азербайджанская ССР и Нахичеванская АССР. Вып. 15. Ч. 2. Л.: Гидрометеоиздат. 307 с.

Geng X., Zhou X., Yin G., Hao F., Zhang X., Hao Z., Singh V., Fu Y. 2020. Extended Growing Season Reduced River Runoff in Luanhe River Basin // Journal of Hydrology. Vol. 582. p. 538-547.

Ji G., Song H., Wei H., Wu L. 2021. Attribution Analysis of Climate and Anthropic Factors on Runoff and Vegetation Changes in the Source Area of the Yangtze River from 1982 to 2016 // Land. No. 10 (6). 612 p.

Rybnikova L.S., Rybnikov P.A. 2016. Formation of Potable Groundwater Deposits Developed by Drainage Systems in the Mountain-Fold Urals // Water Resources. Vol. 43. No. 7. P. 934-947.

Sarmientoa A.M., Nietoa J.M., Olías M., Cánovas C.R. 2009. Hydrochemical characteristics and seasonal influence on the pollution by acid mine drainage in the Odiel river Basin (SW Spain) // Applied Geochemistry. No. 24 (4). P. 697-714.

Zalibekov Z.G., Mamaev S.A., Magomedov R.A., Biarslanov A.B., Asgerova D.B., Galimova U.M. 2019. The use of fresh groundwater from arid regions of the world in the fight against land desertification // Arid Ecosystems. Vol. 9. No. 2. P. 77-84. [*Залибеков З.Г., Мамаев С.А., Биарсланов А.Б., Магомедов Р.А., Асгерова Д.Б., Галимова У.М.* 2019. Об использовании пресных подземных вод засушливых регионов мира в борьбе с опустыниванием земель // Аридные экосистемы. Т. 25. № 2 (79). С. 3-12.]

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2022, том 28, № 2 (91), с. 102-112

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 631.4

ЗАСОЛЕНИЕ ПОЧВ В ДОЛИНЕ ДОНА В УСЛОВИЯХ ПРЕКРАЩЕНИЯ ОРОШЕНИЯ

© 2022 г. И.Н. Горохова*, И.Н. Чурсин**

**Почвенный институт имени В.В. Докучаева*
Россия, 119017, г. Москва, Пыжевский пер., д. 7, стр. 2. E-mail: g-irina14@yandex.ru
***Научный геоинформационный центр РАН*
Россия, 119019, г. Москва, а/я 168, ул. Новый Арбат, д. 11. E-mail: chursin.ivan93@gmail.com

Поступила в редакцию 05.10.2021. После доработки 01.11.2021. Принята к публикации 01.12.2021.

В данной статье представлено исследование, направленное на выявление современного солевого состояния почв Генераловской оросительной системы, построенной около Цимлянского водохранилища в 1959 г. в сухостепной зоне Волгоградской области, долине Дона. Система в настоящее время находится в условиях 30-летнего периода прекращения орошения.

При исследовании методом интерполяции строились карты засоления почв, которые охватывают разную глубину почв и основаны на материалах полевых обследований и данных водной вытяжки (1:5) почвенных образцов, отобранных в 2020 г. Использовались также данные водной вытяжки, полученные в Волгоградской гидрогеолого-мелиоративной партии в 2018 г.

Ключевой участок исследования находился на II надпойменной левобережной террасе р. Дон и включал территорию, где к началу 90-х годов XX века в процессе длительного периода орошения образовался высокий уровень грунтовых вод (1.5-3 м) и их сильная минерализация (3-10 г/л), которые привели к формированию лугового солончака и вторично-засоленных почв сильной степени засоления, что подтолкнуло нас провести картографирование засоленности почв на данной территории и определить изменения за прошедший период.

Анализ карт засоления почв позволил провести оценку современного солевого состояния почв, расположенных на различных элементах рельефа второй террасы р. Дон, и сравнение современного солевого состояния почв с периодом конца 80-х – начала 90-х годов XX века, которое показало постепенное рассоление прежде засоленных участков и развитие ощелачивания верхних горизонтов почв. Рассоление вызвано прекращением орошения, а ощелачивание – расположением Генераловской системы в солонцовой зоне, длительным периодом орошения с 1960 по 1992 гг. и поливами из Цимлянского водохранилища водой с повышенной концентрацией натрия. Карты засоления с отображением глубины солевого горизонта предоставляют сведения, необходимые при разработке и подборе оптимальных мелиоративных мероприятий по восстановлению плодородия почв.

Предварительными рекомендациями для решения данной проблемы при возобновлении орошения могут быть контроль качества поливной воды, применение периодической (раз в несколько лет) влагозарядковой весенней промывки слоя 0-70 см для оттеснения накопившихся солей из зоны аэрации, гипсование для обеспечения вытеснения обменного натрия, подавления щелочности и удаления водорастворимого натрия в нижележащие горизонты за пределы корнеобитаемого слоя, использование капельного полива, увеличение доли многолетних бобовых и злаковых культур в структуре посевных площадей.

В статье также показана невозможность использования спектральных индексов, приведенных в литературных источниках, для определения засоления почв по космической информации применительно к выбранному району исследований. Для подтверждения этого был проведен множественный регрессионный анализ, где в качестве признаков использовались значения спектральных индексов в четырех каналах изображения со спутника Sentinel-2 и значения засоления разных горизонтов почв в точках опробования, полученных в результате полевых и лабораторных работ. По результатам регрессионного анализа существенной зависимости между спектральными индексами и значениями засоления во всех горизонтах почв выявлено не было. Полученные коэффициенты корреляции составили менее 0.5, и, следовательно, связь

оказалась очень низкой.

Ключевые слова: засоление почв, оросительная система, метод интерполяции, картографирование почв.

DOI: 10.24412/1993-3916-2022-2-102-112

В середине XX века в России были построены крупные оросительные системы, обеспечившие продовольственную безопасность страны. Самое активное строительство проводилось в 50-60-х годах, и к середине 1980-х годов освоенные площади орошаемых земель достигли своего пика. Однако экономический кризис 90-х годов привел к сокращению их площадей и изменениям в управлении гидромелиоративными системами. Множество орошаемых земель было заброшено до состояния многолетних залежей, а другая часть была переведена в богарное использование. На некоторых участках орошение возобновили только после длительного периода забрасывания. Такие кардинальные изменения в использовании орошаемых земель не могли не сказаться на состоянии почв.

В настоящее время усилия государства направлены на реконструкцию оросительных систем с целью восстановления орошения и проведения мелиорации орошаемых земель. Для достижения этого крайне важна оценка современного солевого состояния почв с учетом длительности периода орошения и перерывов в орошении. Изучение орошаемых почв позволит целенаправленно выбирать и проводить необходимые агромелиоративные мероприятия для восстановления их плодородия.

Генераловская оросительная система (ОС) – одна из первых крупных государственных систем на юге Волгоградской области. Она была построена на базе Цимлянского водохранилища в 1959 г., ее площадь составляла 12439 га (Щедрин и др., 2013). В начале 1990-х годов из-за экономического кризиса в стране орошение и возделывание земель на ОС были прекращены, и выращивание сельскохозяйственных культур возобновилось только в 2000 г.

По данным Волгоградской гидролого-мелиоративной партии (ВГМП, 2019) в 2001 г. площадь сельскохозяйственных земель Генераловской ОС составила 6895 га, а с 2015 г. – 4870 га, т.е. сократилась в 1.4 раза. В настоящее время земли используются целиком под богарное земледелие с перспективой вновь возобновить орошение. Общая площадь сельскохозяйственных угодий в настоящее время не изменяется с 2015 г. и составляет 4870 га. Возделывают озимые зерновые и технические (горчица) культуры, сохраняется множество залежных земель.

В новейшей литературе в большом количестве статей излагается опыт орошения и его последствия в различных районах Земного шара, прежде всего, на базе привлечения спутниковой информации. Исследование засоленности почв проводится на Ближнем Востоке (Allbed et al., 2014), в Северной Африке (Hihi et al., 2019), Турции (Gorji et al., 2017), Китае (Jiang, Shu, 2018; Wang et al., 2019; Chi et al., 2019; Ren et al., 2019), России (Komissarov et al., 2019; Горохова и др., 1019, 2020).

Для распознавания солончаков, а также засоленных и незасоленных почв часто используются сочетания разных каналов космической съемки и расчетные, эмпирически выведенные индексы (Douaoui et al., 2006; Bouaziz et al., 2011; Abbas et al., 2013; Allbed et al., 2014; Hihi et al., 2019). Однако, по нашему мнению, строго определенной комбинации каналов, универсальных индексов для оценки состояния засоленности почв не существует. В каждом конкретном случае должны использоваться индивидуально подобранные подходы.

Цель настоящих исследований: а) оценить возможности использования по космическим изображениям спектральных индексов засоления почв из литературных источников применительно к территории Генераловской ОС; б) картографировать современное солевое состояние почв Генераловской ОС после 30-летнего периода прекращения орошения.

Объект и методы исследований

Объектом исследований стали почвы Генераловской ОС, находящиеся в сухостепной почвенной зоне Волгоградской области. Оросительная система расположена большей частью на 2-ой надпойменной левобережной террасе р. Дон и частично на северо-западном склоне возвышенности Ергени. Ключевой участок исследований занимает часть террасы р. Дон (рис. 1).

Вторая надпойменная терраса Дона верхнечетвертичного возраста развита отдельными участками, ширина которых составляет 1.5-3.0 км, а высота над урезом реки не превышает 60 м.

Она сложена аллювиальными песками с прослоями и линзами суглинков и глин. Первая надпойменная терраса скрывается под водами Цимлянского водохранилища (Кретинин, 2011).

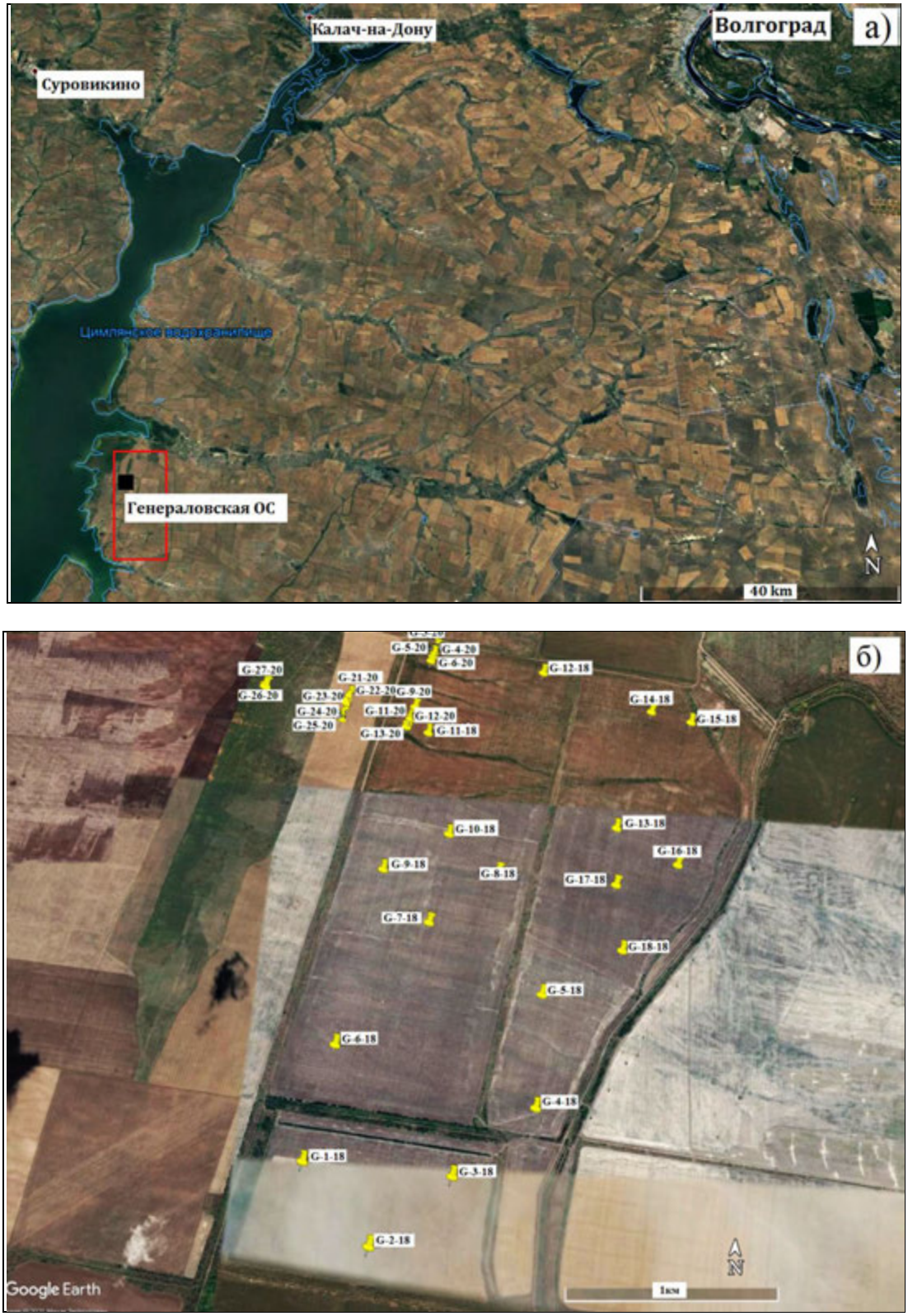


Рис. 1. Расположение Генераловской ОС и ключевого участка (черный квадрат) в регионе полевых исследований (а) с точками полевого опробования на ключевом участке (б) Генераловской ОС в 2020 и 2018 гг., отмеченные на космическом снимке портала Google.Earth (27.12.2019).

В 60-е годы XX в. уровень грунтовых вод (УГВ) в долине р. Дон колебался от нескольких метров до 10 м. По данным Волгоградской гидролого-мелиоративной партии (ВГМП, 2019), к 90-м годам УГВ на Генераловской оросительной системе повысился и достиг 1.5-3 м в долине Дона и 3-5 м на склоне Ергеней. Минерализация грунтовых вод увеличилась с 1-3 г/л до 3-10 г/л. Химический состав вод был пестрым, с преобладанием сульфатов и хлоридов в различных сочетаниях. В настоящее время на всей площади Генераловской ОС УГВ составляет > 5 м. Изменений химического состава вод за период орошения не произошло.

Для всей территории Генераловской ОС характерна комплексность почвенного покрова, представленная каштановыми зональными, лугово- и луговато-каштановыми почвами микропонижений с пятнами солонцов.

Часть почв долины Дона претерпела существенные изменения за период орошения. Высокий уровень (1.5-3 м) и сильная минерализация (3-10 г/л) грунтовых вод привели в конце 80-х – начале 90-х годов XX века к формированию солончака площадью в несколько сот квадратных метров, вокруг которого сформировались вторично-засоленные почвы сильной степени засоления. В 1992 г. орошение на Генераловской ОС было приостановлено, а с 2000 г. земли используются целиком под богарное земледелие.

В августе-сентябре 2020 г. на Генераловской ОС сотрудники Почвенного института им. В.В. Докучаева провели полевые исследования в границах 2-ой террасы р. Дон. Ключевой участок охватывал слаборасчлененный склон террасы, который включал в себя основной склон и пологие борта широкой ложбины, направленной в сторону водохранилища (точки G-25-20 – G-21-20, с абсолютной высотой 50.5-51.5 м н.у.м.), пространство выше основного склона и борта мелкой ложбины (точки G-3-20 – G-13-20, с абсолютной высотой 54.0-55.5 м н.у.м.), бывший солончак, ближе всего расположенный к Цимлянскому водохранилищу (точки G-26-20 – G-27-20, с абсолютной высотой 46.0-46.5 м н.у.м.). Всего было заложено и описано 16 разрезов и прикопок, проанализированы на засоление 152 образца почв методом водной вытяжки (1:5).

Кроме того, использовались данные ВГМП за 2018 г. Это результаты водной вытяжки 17 разрезов почв, расположенных на слаборасчлененном склоне террасы (точки G-2-18 – G-18-18, с абсолютной высотой 50-60 м н.у.м.).

Построение интерполяционных карт засоления почв выполнялось в пакете программ Surfer-13 методом интерполяции «kriging», с учетом координат на местности и анизотропии расположения точек по горизонтали. Kriging – это геостатистический метод пространственной интерполяции, основанный на линейной регрессии. Для создания карт подобным методом строились модельные вариограммы, с помощью которых оценивалась пространственная корреляция значений.

Результаты и обсуждение

Для оценки засоленности почв на Генераловской ОС первоначально определялась возможность применения спектральных индексов засоленности почв из литературных источников, рассчитываемые по космическим изображениям применительно к исследуемой территории. С этой целью был проведен множественный регрессионный анализ, где в качестве признаков использовались значения спектральных индексов в четырех каналах изображения со спутника Sentinel-2 от 28.03.2020 (Copernicus Open Access Hub, 2020) и значения засоления разных горизонтов почв в точках опробования, полученных в результате полевых и лабораторных работ. Предполагалось, что спектральные индексы, имеющие наибольшие коэффициенты корреляции, могут использоваться далее для расчета засоленности почв для территории Генераловской ОС. Однако по результатам регрессионного анализа существенная зависимость между спектральными индексами и значениями засоления во всех горизонтах почв не была выявлена. Полученные коэффициенты корреляции составили менее 0.5, и, следовательно, связь оказалась очень низкой (табл.).

Таким образом, расчеты подтвердили наши предположения о том, что универсальных индексов для определения засоленности почв не существует и в каждом конкретном случае при оценке засоленности почв разных территорий должны использоваться индивидуально подобранные методы.

Поскольку по материалам полевых исследований в точках опробования на ключевом участке Генераловской ОС установлено, что засоление в почвах находится достаточно глубоко, то для

построения карт мы выбрали метод интерполяции. Степень и тип химизма засоления почв определялись по сумме токсичных солей (Sтокс., %), согласно методике Н.И. Базилевич и Е.И. Панковой (1972), представленной в монографии "Засоленные почвы России" (2006). Засоление на Генераловской ОС выявлено как хлоридно-щелочное и хлоридно-сульфатное, хлоридное, сульфатно-хлоридное магниево-натриевого типов химизма. Присутствие токсичной щелочности в почвах связано с натрием, поступившим с оросительными водами. Хлоридно-сульфатный, сульфатно-хлоридный тип химизма характерен для зональных каштановых почв. Степень засоления для данных типов химизма солей определялась по шкалам (рис. 2).

Таблица. Коэффициенты регрессии и корреляции, рассчитанные по спектральным индексам засоленности почв из литературных источников и значениями засоления разных горизонтов почв в точках опробования на ключевом участке Генераловской ОС.

Индекс засоления почв	**Источник и район исследования**	**Коэффициенты регрессии для разных горизонтов почв (см)**				
		0-30	**30-50**	**50-100**	**100-150**	**150-200**
$SI = \sqrt{G^2 + R^2}$	Douaoui et al. (2006), Алжир	$2.10 \cdot 10^{-6}$	$2.58 \cdot 10^{-6}$	5.57E-06	$4.65 \cdot 10^{-5}$	$7.87 \cdot 10^{-5}$
$SI = \sqrt{G \times R}$	Bouaziz et al. (2011), Северо-восточная Бразилия	$1.46 \cdot 10^{-5}$	$8.71 \cdot 10^{-6}$	$2.70 \cdot 10^{-5}$	$1.01 \cdot 10^{-5}$	$7.18 \cdot 10^{-6}$
$SI = \sqrt{R^2 + G^2 + NIR^2}$	Abbas et al. (2013), Пакистан	$1.52 \cdot 10^{-5}$	$1.44 \cdot 10^{-6}$	$9.34 \cdot 10^{-6}$	$6.79 \cdot 10^{-5}$	0.000104972
$SI = \sqrt{R^2 + G^2 + NIR^2}$		0.534623887	0.44312476	2.041167194	2.04369157	1.884813686
$SI = \frac{B - R}{B + R}$		0.086471288	0.08726639	0.000714968	0.372209169	0.19446472
$SI = \frac{G \times R}{B}$		$2.66 \cdot 10^{-5}$	$1.48 \cdot 10^{-5}$	$3.70 \cdot 10^{-5}$	$3.93 \cdot 10^{-6}$	$1.92 \cdot 10^{-5}$
$SI = \sqrt{B \times R}$		$2.57 \cdot 10^{-5}$	$2.71 \cdot 10^{-5}$	$2.41 \cdot 10^{-6}$	$2.79 \cdot 10^{-6}$	$2.47 \cdot 10^{-5}$
Коэффициент корреляции		0.26	0.49	0.42	0.25	0.22

Примечания к таблице: *B* – голубой (0.4-0.5 мкм), *G* – зеленый (0.5-0.6 мкм), *R* – красный (0.6-0.7 мкм), *NIR* – ближний инфракрасный (0.7-0.95 мкм) каналы космических съемок.

Основные элементы рельефа ключевого участка, которые необходимы для анализа карт, показаны на рисунке 3. Карты засоления почв были построены для горизонтов почв 0-30, 30-50, 50-100, 100-150 и 150-200 см (рис. 4).

Анализ карт засоления почв показал следующее.

Величина средневзвешенной суммы токсичных солей в толще почв 0-30 см на борту ложбины выше основного склона характеризует засоление слабой степени (0.05%) хлоридного и хлоридно-сульфатного типа химизма. На всем остальном пространстве участка почвы определяются как незасоленные (0.01-0.04%).

На месте бывшего солончака на глубине 30-50 см наблюдается щелочное засоление слабой степени (0.05-0.07%), а на глубине 50-100 см – средней и слабой степени (0.05-0.16%) хлоридного и сульфатно-хлоридного химизма солей. В 1990-х гг. здесь была открытая поверхность с УГВ < 1.5 м, а почвы были сильно засолены в метровой толще. А значит, по сравнению с прошлым периодом, на месте солончака и вокруг него отмечается значительное снижение засоленности почв, что связано с 30-летним отсутствием орошения. В настоящее время поле с бывшим солончаком не возделывается и сплошь поросло тростником. На всем остальном пространстве ключевого участка засоление почв не фиксируется (0.01-0.04%).

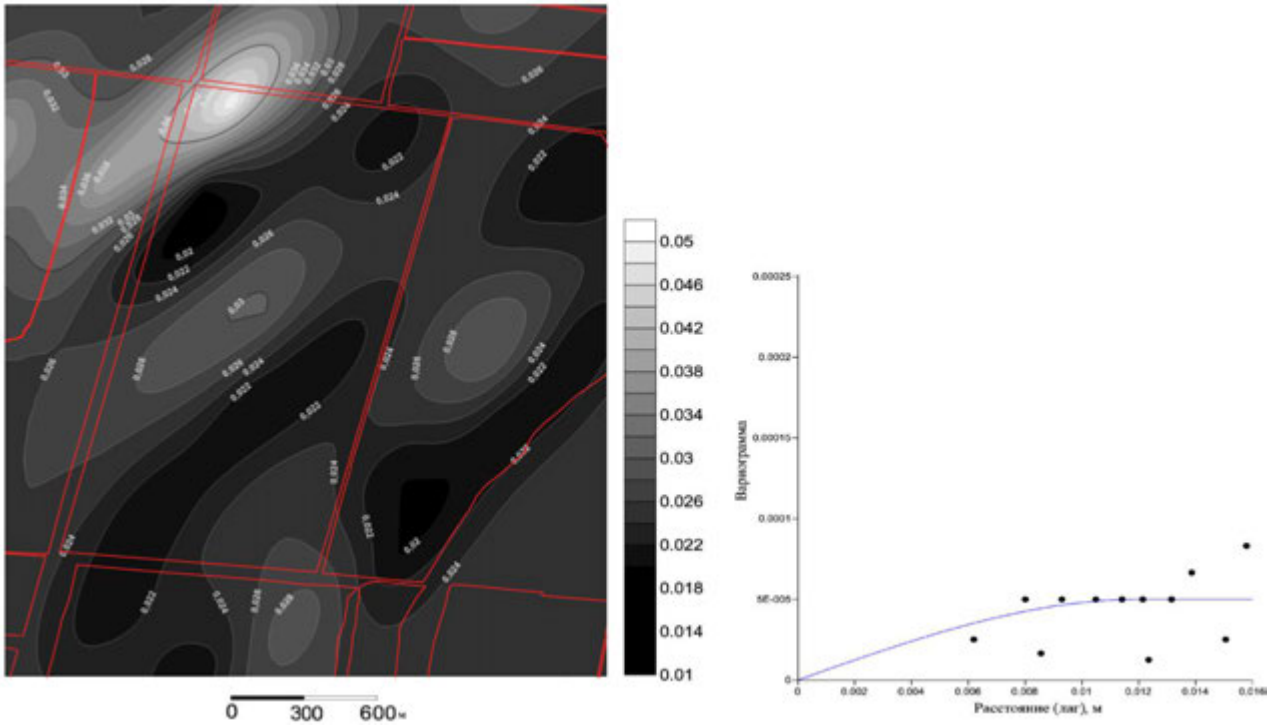
Рис. 2. Шкалы степени засоления почв (по Стокс., %): А – хлоридное, хлоридно-сульфатное, Б – сульфатно-хлоридное, В – хлоридно-щелочное, щелочно-хлоридное (Засоленные почвы России, 2006).

Рис. 3. Основные элементы рельефа ключевого участка Генераловской ОС, отмеченные на космическом снимке Sentinel-2 от 28.03.2020.

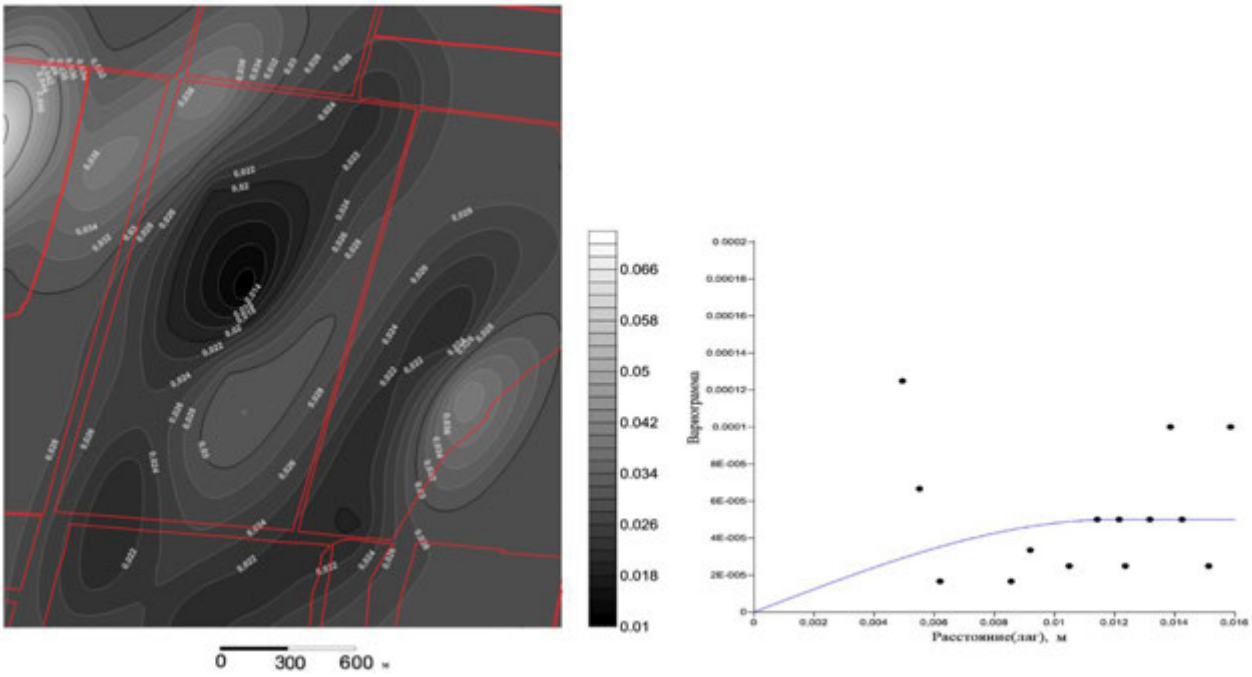
На месте бывшего солончака и за его пределами на борту ложбины выше основного склона на глубине 100-150 см засоление почв – слабо-средней степени (0.11-0.17%) сульфатного, щелочного

и хлоридного типа химизма.

Глубже 150 см – слабо-среднее засоление (0.05-0.23%) преимущественно хлоридного и хлоридно-сульфатного химизма солей. Оно встречается на всем ключевом участке, что соответствует зональным особенностям каштановых почв сухостепной зоны.



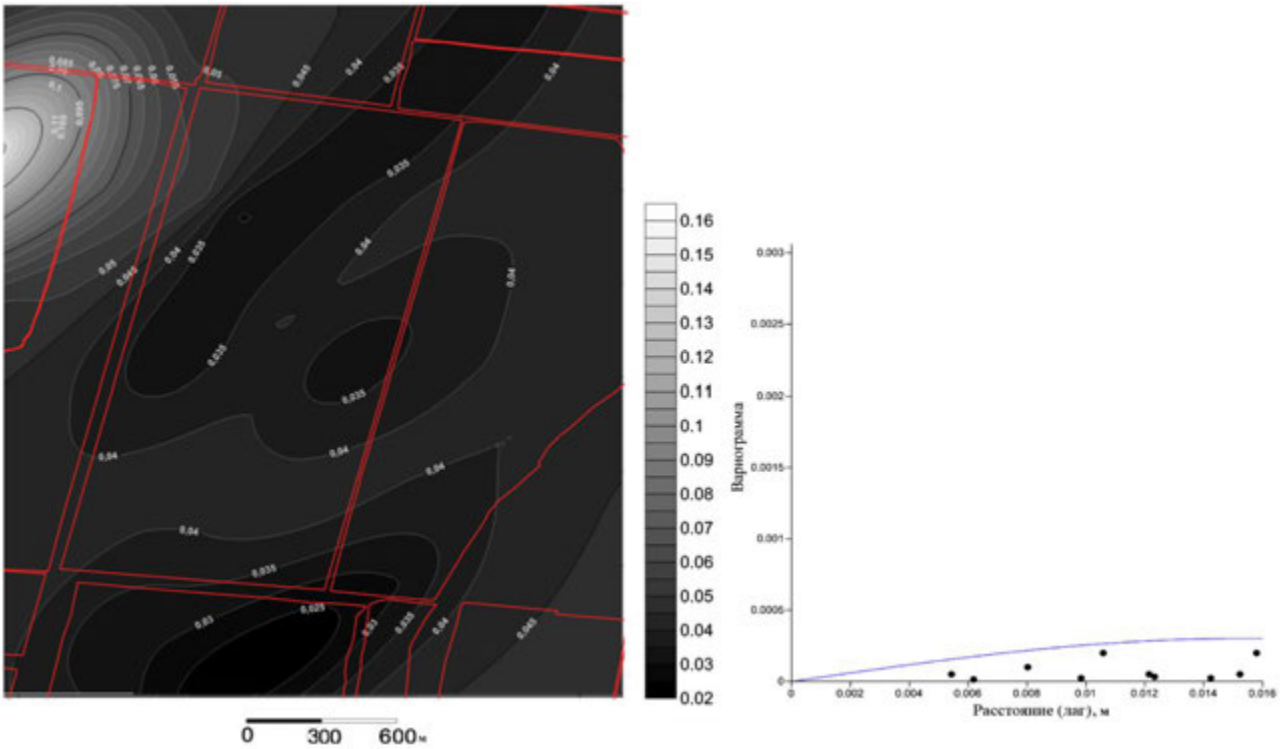
0-30 см **а)**



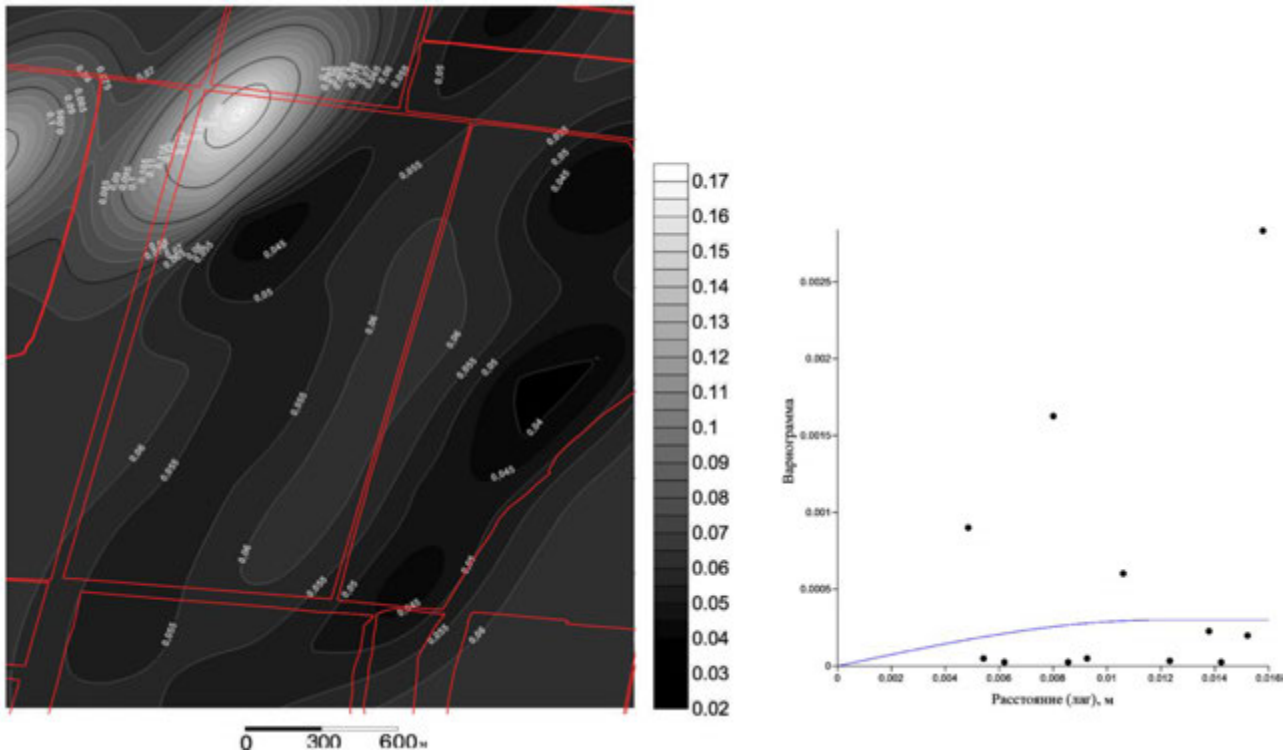
30-50 см **б)**

Рис. 4. Вариограммы и карты пространственного распределения содержания средневзвешенной суммы токсичных солей ($S_{токс}$, %) в слоях 0-30 (а) и 30-50 (б) см на территории ключевого участка Генераловской ОС.

Продолжение рисунка 4.



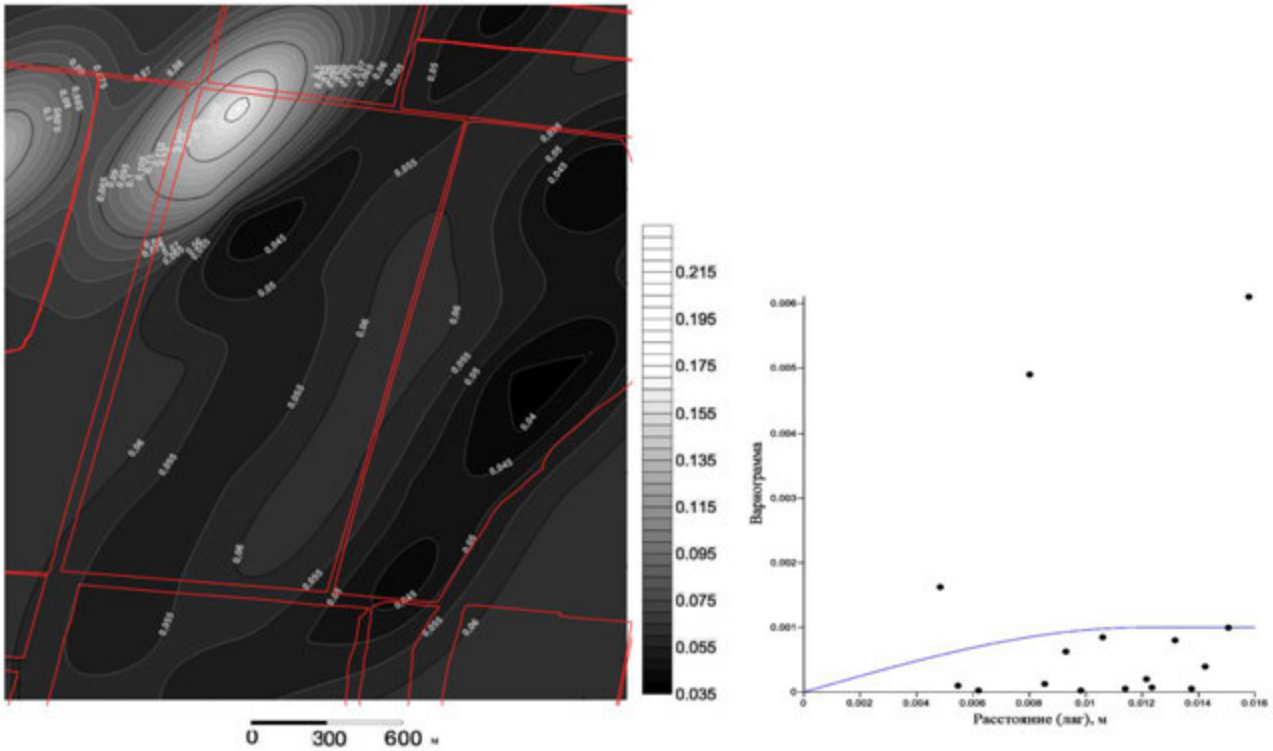
50-100 см **в)**



100-150 см **г)**

Рис. 4. Вариограммы и карты пространственного распределения содержания средневзвешенной суммы токсичных солей ($S_{токс}$, %) в слоях 50-100 (в) и 100-150 (г) см на территории ключевого участка Генераловской ОС.

Продолжение рисунка 4.



150-200 см **д)**

Рис. 4. Вариограммы и карты пространственного распределения содержания средневзвешенной суммы токсичных солей ($S_{токс}$, %) в слое 150-200 (д) см на территории ключевого участка Генераловской ОС.

Таким образом, анализ карт ключевого участка с разным солевым состоянием по горизонтам продемонстрировал присутствие засоления почв в слабо-средней степени на месте бывшего солончака и на борту ложбины выше основного склона до глубины 150 см. Он показал значительное рассоление бывшего солончака в метровой толще, отсутствие засоления почв вокруг бывшего солончака, а также развитие ощелачивания верхних горизонтов (до 50 см) современных почв, что связано с расположением Генераловской ОС в солонцовой зоне и накоплением натрия в почве в результате полива в прошлом из Цимлянского водохранилища.

Выявленные процессы деградации почв требуют разработки систем мероприятий по стабилизации экологической устойчивости агроландшафта и увеличению продуктивности почв. Предварительными рекомендациями для решения данной проблемы при возобновлении орошения могут быть контроль качества поливной воды, применение периодической (раз в несколько лет) влагозарядковой весенней промывки слоя 0-70 см для оттеснения накопившихся солей из зоны аэрации, гипсование для обеспечения вытеснения обменного натрия, подавления щелочности и удаления водорастворимого натрия в нижележащие горизонты за пределы корнеобитаемого слоя, использование капельного полива, увеличение доли многолетних бобовых и злаковых культур в структуре посевных площадей, как более солеустойчивых.

Выводы

В статье даны результаты исследований, проведенные для выявления современного солевого состояния почв Генераловской оросительной системы, расположенной в сухостепной зоне каштановых почв Волгоградской области, в долине Дона. Генераловская оросительная система была построена на базе Цимлянского водохранилища в середине прошлого века. В настоящее время она находится в условиях 30-летнего периода прекращения орошения, с перспективой начала орошения в

ближайшие годы. Современный ключевой участок исследований находился в пределах 2-ой террасы р. Дон, где в августе-сентябре 2020 г. проводились полевые работы с отбором почвенных образцов. Материалы полевых обследований и результаты водной вытяжки (1:5) почвенных образцов, совместно с материалами Волгоградской гидрогеолого-мелиоративной партии использовались для построения интерполяционных карт засоления почв, охватывающие разные по глубине горизонты почв и отражающие современное солевое состояние почв оросительной системы.

Ключевой участок исследования включал территорию, где в начале 90-х годов XX века в процессе длительного периода орошения образовался высокий уровень (1.5-3 м) и сильная минерализация (3-10 г/л) грунтовых вод, которые привели к формированию лугового солончака и вторично-засоленных почв сильной степени засоления, что подтолкнуло провести картографирование засоленности почв на данной территории, а также отразить за прошедший период изменения.

В результате анализа материалов ВГМП и составленных авторами карт засоления почв было установлено, что после 30-летнего периода прекращения орошения на всей территории оросительной системы уровень грунтовых вод стал глубже 5 м, произошло постепенное рассоление вторично-засоленных почв с сильной до слабо-средней степени засоления, которое отмечается с глубины 30-50 см на месте бывшего солончака и отсутствие засоления вокруг него; выявлено глубокое (>150 см) засоление почв на территории всего участка, что характерно для зональных каштановых почв и развитие ощелачивания верхних горизонтов современных почв, что связано с расположением участка Генераловской ОС в солонцовой зоне и накоплением натрия в почве в результате полива в прошлом из Цимлянского водохранилища.

Исследования показали возможность использования методов интерполяции для картографирования почвенного покрова, с отражением глубины расположения солевого горизонта (особенно первого от поверхности), сведения по которым необходимы при разработке и подборе оптимальных мелиоративных мероприятий по восстановлению плодородия почв.

Попытка использовать из литературных источников спектральные индексы засоления почв по дистанционной информации, не дала положительного результата.

Благодарности. Авторы выражают благодарность сотрудникам Волгоградской гидрогеолого-мелиоративной партии за предоставленные для работы данные.

Финансирование. Работа выполнена по темам государственных заданий № 0591-2019-0023 «Изучить влияние природных условий и особенностей землепользования на почвенный покров в том числе с участием засоленных солонцовых и слитизированных почв и разработать технологию оценки интенсивности эксплуатации почв сельскохозяйственных угодий» и № АААА-А19-119012390065-9 «Разработка методов анализа и комплексного использования данных дистанционного зондирования Земли на основе современных геоинформационных технологий для мониторинга природных ландшафтов земель сельскохозяйственного назначения с применением группировок малых космических аппаратов».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Базилевич Н.И., Панкова Е.И. 1972. Опыт классификации почв по содержанию токсичных солей и ионов // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. Вып. 5. С. 36-41.

ВГМП. 2019. Показатели по оценке и учету мелиоративного состояния орошаемых селскохозяйственных угодий и технического состояния оросительных систем по состоянию на 01.01.2019 г. Неопубликованные материалы Архива Волгоградской гидрогеолого-мелиоративной партии. г. Волгоград. 14 с.

Горохова И.Н., Панкова Е.И., Харланов В.А. 2019. Изменения мелиоративного состояния орошаемых почв Волгоградской области в XXIвеке / Почвоведение. № 3. С. 1-18. [*Gorokhova I.N., Pankova E.I., Kharlanov V.A.* 2019. Changes in the Ameliorative Status of rrigated Soils of Volgograd Oblast in the 21st Century/ Eurasian Soil Science. Vol 52. № 5. P. 550-565.]

Горохова И.Н., Хитров Н.Б., Кравченко Е.П. 2020. Изменение засоленности орошаемых почв участка Червленое за четверть века (Волгоградская область) // Почвоведение. № 4. С. 463-472. [*Gorokhova I.N., Khitrov N.B., Kravchenko E.I.* 2020. Changes in Soil Salinity at the Chervlenoe Irrigation Massive (Volgograd Oblast) in a Quarter of Century // Eurasian Soil Science. Vol. 53. No. 4. P. 494-502.]

Засоленные почвы России. 2006 / Ред. Л.Л. Шишов, Е.И. Панкова. М.: ИКЦ «Академкнига». 854 с.

Кретинин В.М. 2011. Естественные леса и почвы Нижнего Поволжья. Волгоград: ВНИИАЛМИ. 120 с.

Щедрин В.Н., Колганов А.В., Васильев С.М., Чураев А.А. 2013. Оросительные системы России: от поколения к поколению. Новочеркасск: Геликон. Ч. I. С. 283.

Abbas A., Khan S., Hussain N., Hanjra M.A., Akbar S. 2013. Characterizing soil salinity in irrigated agriculture using a remote sensing approach // Physics and Chemistry of the Earth. Pt. A/B/C. Vol. 55-57. P. 43-52.

Allbed A., Kumar L., Aldakheel Y.Y. 2014. Assessing soil salinity using soil salinity and vegetation indices derived from IKONOS high-spatial resolution imageries: Applications in a date palm dominated region // Geoderma. Vol. 230-231. P. 1-8.

Bouaziz M., Matschullat J., Gloaguen R. 2011. Improved remote sensing detection of soil salinity from a semi-arid climate in Northeast Brazil // Comptes Rendus Geoscience. Vol. 343. No. 11-12. P. 795-803.

Chi Y., Sun J., Liu W., Wang J. Zhao M. 2019. Mapping coastal wetland soil salinity in different seasons using an improved comprehensive land surface factor system // Ecological Indicators. Vol. 107. P. 105517.

Copernicus Open Access Hub. 2020 [Электронный ресурс https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home (дата обращения 10.04.2021)].

Douaoui A.E.K., Nicolas H., Walter C. 2006. Detecting salinity hazards within a semiarid context by means of combining soil and remote-sensing data // Geoderma. Vol. 134. No. 1-2. P. 217-230.

Earth Explorer. 2020 [Электронный ресурс https://earthexplorer.usgs.gov/ (дата обращения 19.07.2021)].

Gorji T., Sertel E., Tanik A. 2017. Monitoring soil salinity via remote sensing technology under data scarce conditions: a case study from Turkey // Ecological Indicators. Vol. 74. P. 384-391.

Hihi S., Rabah Z.B., Bouaziz M., Chtourou M.Y., Bouaziz S. 2019. Prediction of Soil Salinity Using Remote Sensing Tools and Linear Regression Model // Advances in Remote Sensing. Vol. 8. P. 77-88.

Jiang H., Shu H. 2018. Optical remote-sensing data based research on detecting soil salinity at different depth in an arid-area oasis. Xinjiang, China // Earth Science Informatics. P. 1-14.

Komissarov A., Safin Kh., Ishbulatov M., Khafizov A., Komissarov M. 2019. Irrigation as means to reduce the risks of agricultural productionin the South Ural // Bulgarian Journal of Agricultural Science. Vol. 25. Suppl. 2. P. 149-157.

Ren D., Wei B., Xu X., Engel B., Li G., Huang Q., Xiong Y., Huang G. 2019. Analyzing spatiotemporal characteristics of soil salinity in arid irrigated agro-ecosystems using integrated approaches // Geoderma. Vol. 356. P. 113935.

Wang J., Ding J., Yu D., Ma X., Zhang Z., Ge X., Teng D., Li X., Liang J., Lizaga I., Chen X., Yuan L., Guo Y. 2019. Capability of Sentinel-2 MSI data for monitoring and mapping of soil salinity in dry and wet seasons in the Ebinur Lake region, Xinjiang, China // Geoderma. Vol. 353. P. 172-187.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2022, том 28, № 2 (91), с. 113-121

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 631.46:631.48:930

ВЛИЯНИЕ ЭКСПОЗИЦИИ СКЛОНА НА ХИМИЧЕСКИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКИХ ТЕРРАС ВОСТОЧНОГО КАВКАЗА

©2022 г. В.Н. Пинской*, И.А. Идрисов, Н.Н. Каширская*, М.В. Ельцов*, А.В. Потапова*, А.В. Борисов***

**Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН*
Россия, 142290, Московская обл., г. Пущино, ул. Институтская, д. 2а. E-mail: pinskoy@inbox.ru
***Институт геологии Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН*
Россия, 367025, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. М. Ярагского, д. 75

Поступила в редакцию 30.11.2021. После доработки 30.11.2021. Принята к публикации 01.12.2021

Проведено исследование зависимости химических и микробиологических свойств почв земледельческих террас от экспозиции склона. Исследовались террасы на известняках и сланцах в среднегорной зоне Восточного Кавказа. Установлено, что экспозиция склона заметно влияет на свойства почв на однотипных почвообразующих породах. Формирование террас с пахотной поверхностью, близкой к горизонтальной, изменяет угол падения солнечных лучей, что приводит к увеличению теплообеспеченности почв на склонах северной экспозиции и уменьшению – на южных склонах. В результате смены теплового режима в верхнем горизонте террасных почв различия химических и микробиологических свойств на склонах северной и южной экспозиции уменьшились по сравнению с фоновыми почвами. Нивелирующий эффект террасирования был выражен сильнее на пологих склонах 5-15° с наибольшей шириной террасного полотна по сравнению с почвами узких террас, сформированных на крутых склонах.

Ключевые слова: Восточный Кавказ, земледельческие террасы, экспозиция склона, химический состав, биологическая активность.

DOI: 10.24412/1993-3916-2022-2-113-121

Неоднородность рельефа горной зоны влияет на перераспределение солнечной радиации, что приводит к неоднородности зонального ряда почв на одной высоте. В схожей биоклиматической обстановке экспозиция склона может играть более важную роль в процессе почвообразования, чем абсолютная высота (Владыченский, 1998). Так, в частности, для горной зоны Дагестана показано, что на склоне северной экспозиции формируется гумидный, а на склонах южной экспозиции – ксероморфно-литогенный ряд почв (Ромашкевич и др., 1993). Дифференциация солнечной радиации усиливается в зависимости от крутизны склона. Так, склоны южной экспозиции крутизной 20-30° получают в 5-6 раз больше солнечной радиации, чем склоны северной экспозиции такой же крутизны (Кондратьев и др., 1978).

Следует отметить, что к настоящему времени получен достаточно обширный материал по влиянию экспозиции склона на свойства почв (Бабаева, 2002; Русланов, Милякова, 2005; Спирина, Раудина, 2015; Чуян и др., 1987; Die et al., 2021). Но эти данные относятся к естественным почвам на склонах, форма поверхности которых не изменялась целенаправленно. Что касается террасированных слонов, то здесь влияние экспозиции на свойства почв остается практически неизученным.

Следует отметить, что в последние годы во всем мире отчетливо проявляется интерес исследователей к вопросам функционирования почв земледельческих террас. Активно ведутся исследования террасных почв Южной Америки (Sandor et al., 2021), Средиземноморья (Sabir, 2021; Turner, 2021), Южной Европы (Cambi et al., 2021; Cucchiaro et al., 2021), Юго-Западной (Azaiez et al., 2020) и Восточной Азии (Die et al., 2021).

Для Восточного Кавказа до недавнего времени были известны лишь работы З.Г. Залибекова (1982, 2010) и М.А. Баламирзоева с соавторами (2008). В этих работах показана специфичность террасовых почв, которые было предложено выделять на уровне самостоятельного почвенного типа (Залибеков, 1982). В последние годы появились работы по более детальному изучению почв

земледельческих террас (Борисов и др., 2021). Однако и в этих работах фактор экспозиции склона не учитывался.

В этой связи, целью работы была оценка влияния экспозиции склона на химические и биологические свойства почв земледельческих террас Восточного Кавказа.

Материалы и методы исследования

Объекты исследования расположены в среднегорной зоне Дагестана. Почвообразующие породы представлены известняками раннего мела и глинистыми сланцами (аргиллитами) нижней и средней юры.

Для исследования химических и биологических свойств террасных почв на сланцах (с долей песчаников не более 5%) были выбраны участки на склонах северной и южной экспозиции в районе села Джаба (Ахтынский район Республики Дагестан (рис. 1). Для этого участка, известно время начала террасирования (1930-1940 гг.) и забрасывания террас (1980-1990 гг.).

Объектами исследования на известняках стали два участка, расположенные в Акушинском районе Республики Дагестан. Первый участок располагался на склоне северной экспозиции вблизи села Муги, второй – на склоне южной экспозиции вблизи села Камкамахи. Абсолютная высота объектов – 1250-1460 м н.у.м. Время возникновения этих селений относится к эпохе Средневековья, поэтому и возраст террас, по всей видимости, также насчитывает несколько сотен лет.

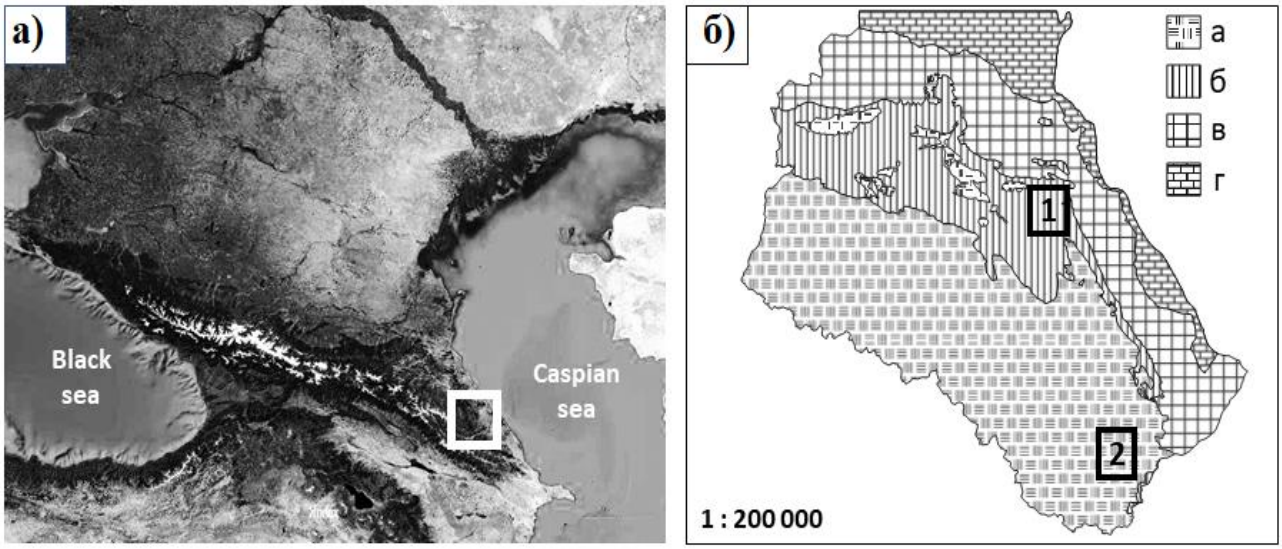


Рис. 1. Район исследования на космоснимке (а) и расположение объектов исследования на геологической карте Дагестана (б). *Условные обозначения.* Расположение ключевых участков: 1 – на известняках, 2 – на сланцах. Геологические отложения: а – юрские глинистые сланцы, песчаники, б – меловые известняки, мергели, глины, алевролиты, песчаники, в – третичные глины, песчаники, пески, галечники, ракушечники, г – четвертичные современные пески, эоловые и аллювиальные отложения.

Климат умеренно континентальный, среднегодовая температура составляет +6-8°С. Среднегодовое количество осадков от 350-400 мм для ключевого участка в сланцевой зоне, до 500-600 мм для ключевого участка в известняковой части Дагестана. Большая часть осадков выпадает в теплый период года. Естественный почвенный покров представлен горно-луговыми эродированными почвами. В известняковой зоне большие площади занимают литоземы (Акаев и др., 1996). На протяжении последних 30-50 лет все террасы находятся в залежном состоянии, что привело к восстановлению зональной растительности.

Строение и особенности почв террас. Все исследованные террасы имели однотипное строение. В теле террасы выделяются 4 зоны: 1 – зона эрозии (область тылового шва террасы), 2 – транзитно-метаморфическая зона (центральна часть террасы), 3 – аккумулятивная зона (прибровочная часть), 4 – зона десерпции и почвенного крипа (бровка и откос террасы).

Наиболее информативной частью террасы является прибровочная зона, где мощность почвенного профиля наибольшая. Во всех случаях с поверхности залегает горизонт AU, сформировавшийся после прекращения распашки. Его мощность может достигать 10-20 см (табл.). Этот горизонт условно можно назвать «слоем запустения» (Каширская и др., 2017). Ниже по профилю залегает слабо дифференцированная толща пахотных горизонтов. В некоторых случаях в ней можно выделить горизонты [Rj1pa], [Rj2pa], [Rj3pa] и т.д., незначительно отличающиеся по морфологическим показателям. В целом эту толщу можно назвать «слоем функционирования» террасы. В некоторых случаях под ним можно обнаружить гумусовый горизонт [AU] погребенной почвы, существовавшую до момента возникновения террасы.

Таксономическая принадлежность почв террас заслуживает отдельного рассмотрения. Вовлечение почвообразующей породы в пахотный слой вследствие ее распашки в области тылового шва террасы обеспечивает постоянное поступление в почву минерального материала, что дает основания относить почвы террас к синлитогенному стволу. При этом в пределах одной террасы можно выделить почвы, относящиеся к двум отделам: в прибровочной части формируются стратоземы, а в области тылового шва – литоземы. Различается и тип почв: в зоне аккумуляции (прибровочная и центральная часть) формируются агростратоземы гумусовые, в то время как в зоне эрозии (зона тылового шва) – агролитоземы. Формирование стратифицированного почвенного профиля террас является результатом аграрной деятельности, в связи с чем было предложено выделять специальный подтип – агростратифицированными (Борисов и др., 2021).

Методы исследований. На всех ключевых участках в сланцевой и известняковой зоне на склонах разной экспозиции были заложены почвенные разрезы в прибровочной части террас в нижней и верхней частях склона. На участке со сланцами исследованы фоновые почвы в однотипных геоморфологических условиях в 100 м от террасированного участка. Фоновые почвы на участке с известняками не выявлены, т.к. террасы занимали всю площадь склона с почвенным покровом.

Было проведено морфолого-генетическое описание профилей и отбор образцов на химические и микробиологические анализы. Определение органического углерода проводили по методу влажного окисления со спектрофотометрическим окончанием по Тюрину (Воробьева, 1998). Определение содержания карбонатов, pH водной вытяжки, содержание подвижных P_2O_5 и K_2O, емкости катионного обмена было проведено по традиционным методикам (Аринушкина, 1970). Определение гранулометрического состава проводили пипеточным методом по Качинскому (Практикум по почвоведению, 1973).

Для микробиологических исследований образцы отбирались послойно через каждые 10 см. Оценку микробной биомассы, дающей респираторный отклик на внесение глюкозы (С-СИД), проводили методом субстрат-индуцированного дыхания (Anderson, Domsch, 1978). Уреазную активность определяли индофенольным методом (Kandeler, Gerber, 1988), фосфатазную – методом Галстяна-Арутюнян (Хазиев, 2005). Оценивали численность микроорганизмов различных трофических групп на твердых питательных средах (Демкина и др., 2017). Статистическая обработка данных проводилась методом построения диаграмм box plot (Krzywinski, Altman, 2014) и методом главных компонент в программе Statistica.

Результаты и обсуждение

Химические и микробиологические свойства почв на склонах разной экспозиции. Содержание органического углерода ($C_{орг.}$) во всех пахотных горизонтах различалось незначительно (рис. 2). Максимальное содержание $C_{орг.}$ как в горизонтах [Rjpa] – 2.5%, так и в горизонтах AU – 4.2%, было зафиксировано на северном склоне на известняках. Та же закономерность была выявлена для почв на глинистых сланцах.

Емкость катионного обмена (ЕКО) была выше на склонах северной экспозиции, как на аргиллитах, так и на известняках (рис. 2).

Содержание ила (рис. 2) при сравнении медиан и средних значений горизонтов [Rjpa] на известняках было несколько выше на северном склоне, а на глинистых сланцах – на южном склоне, где также была выявлена максимальная вариабельность содержания глины (рис. 2), что связано с особенностями состава пород и интенсивностью физического выветривания.

Таблица. Химические свойства и гранулометрический состав почв земледельческих террас на разных почвообразующих породах и склонах разной экспозиции.

Местонахождение разреза	Глубина горизонта, см	Название горизонта	$C_{орг.}$	$CaCO_3$	pH водн.	P_2O_5	K_2O	ЕКОст ммоль (экв.)/100 г	Ил	Физ. глина
			%			мг/100 г почвы			%	
	Известняки, склон северной экспозиции									
Верхняя часть склона	0-40	AU	2.4	9.1	8.1	1.6	31.4	25.8	22	43
	41-80	[Rj1pa]	2.0	6.6	8.2	0.8	16.9	24.8	21	48
	81-140	[Rj2pa]	2.9	3.1	8.2	0.9	11.9	33.0	21	41
Нижняя часть склона	0-10	AU	4.2	8.1	7.9	2.0	29.0	28.3	22	42
	11-50	[Rj1pa]	1.9	8.6	8.1	1.7	22.2	21.9	23	47
	51-80	[Rj2pa]	2.0	6.3	8.2	1.8	17.1	21.4	21	40
	81-110	[AU]	2.9	3.2	8.2	2.0	15.2	28.8	20	41
	Известняки, склон южной экспозиции									
Верхняя часть склона	0-30	AU	1.9	9.3	8.4	0.8	33.6	24.8	21	47
	31-60	[Rj1pa]	1.5	9.2	8.4	0.8	21.8	15.0	21	51
	61-90	[Rj2pa]	1.3	8.7	8.2	0.6	22.4	24.0	19	52
Нижняя часть склона	0-30	AU	2.5	12.4	8.1	1.1	32.7	22.4	11	37
	31-50	[Rj1pa]	1.9	12.4	8.1	0.7	20.4	17.6	18	44
	51-70	[Rj2pa]	2.0	11.7	8.2	0.6	19.1	15.4	18	46
	Глинистые сланцы, склон северной экспозиции									
Верхняя часть склона	0-10	AU	2.9	1.1	6.9	0.8	38.0	28.6	15	41
	11-70	[Rj1pa]	2.2	1.1	6.7	0.4	10.4	27.1	18	47
	71-100	[Rj2pa]	2.8	0.9	6.6	0.4	7.1	29.3	19	49
	101-110	C	1.6	0.9	6.9	0.4	6.2	28.6	20	47
Нижняя часть склона	0-10	AU	2.0	0.7	7.2	0.8	47.1	21.5	16	42
	11-80	[Rj1pa]	1.4	0.7	7.3	0.4	13.2	20.9	22	52
	81-100	[AU]	1.2	0.8	7.3	0.2	7.3	24.7	27	56
Фон	0-20	AU	3.5	1.0	6.5	0.5	10.7	37.4	9	20
	21-40	B1	1.6	1.1	6.2	0.4	8.3	26.9	23	52
	41-50	B2	1.4	0.6	6.4	0.4	7.6	19.3	24	52
	51-60	C	0.8	0.8	6.4	1.0	52.2	21.5	28	54
	Глинистые сланцы, склон южной экспозиции.									
Верхняя часть склона	0-20	AU	1.2	1.06	8.0	0.39	11.8	17.6	25	57
	21-80	[Rj1pa]	1.0	0.96	8.3	0.50	9.9	20.5	24	56
	81-140	[Rj2pa]	0.9	1.01	8.2	0.86	10.3	21.2	25	56
Нижняя часть склона	0-20	AU	1.7	0.9	7.7	0.6	45.0	17.6	11	27
	21-80	[Rj1pa]	1.1	0.9	8.4	0.4	22.8	19.8	16	39
	81-120	[Rj2pa]	1.0	1.1	8.4	0.3	16.2	20.9	22	48
Фон	0-20	AU	2.2	1.0	7.6	0.7	27.7	18.7	15	39
	21-40	B	1.5	0.9	7.9	0.4	13.1	22.0	21	48

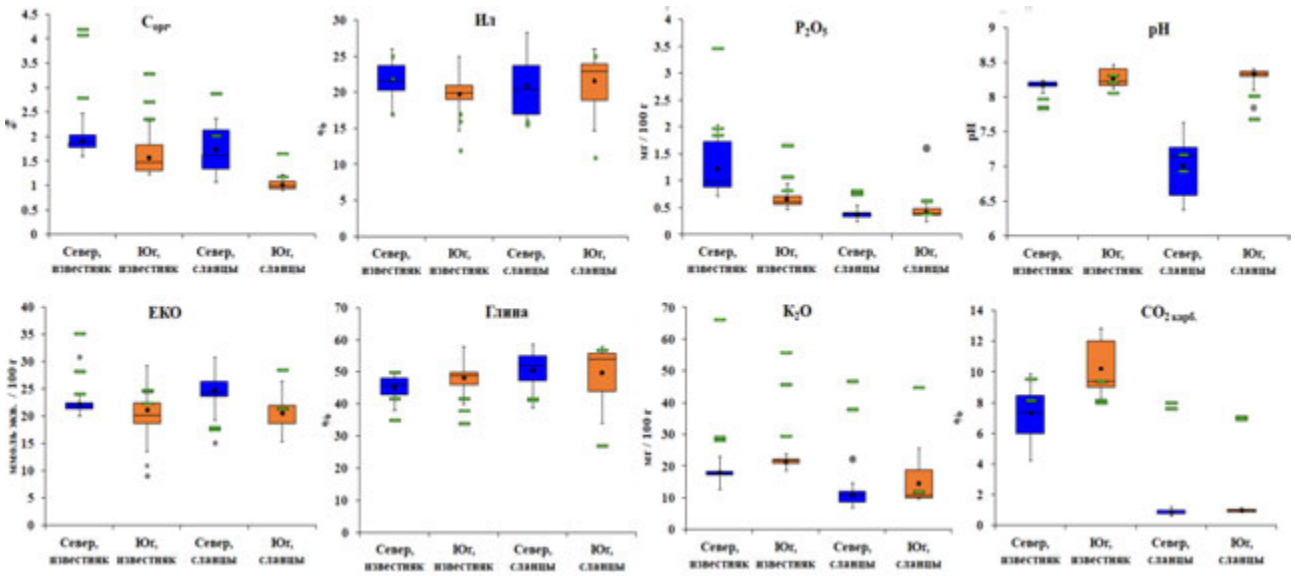


Рис. 2. Влияние экспозиции склона на содержание органического углерода ($C_{орг.}$), емкость катионного обмена (ЕКО), содержание ила (Ил), содержание физической глины (Глина), содержание подвижных фосфатов (P_2O_5) и калия (K_2O), кислотности (pH) и содержание карбонатов ($CO_{2карб.}$) в исследованных почвах. Слои запустения AU показаны отдельными линиями.

Исследованные почвы характеризуются весьма низкими значениями содержания подвижных форм фосфатов и калия (рис. 2). Как и в случае с органическим углеродом, содержание подвижных форм фосфатов в горизонтах AU резко увеличивается. Схожая закономерность наблюдается в случае с подвижным калием, что особенно заметно в почвах на известняках на склоне северной экспозиции, где в горизонте AU этот показатель достигал 68 мг/100 г. В горизонтах [Rjpa] максимальное содержание подвижных форм калия было отмечено в почвах на известняках южного склона, но и здесь значения были менее 25 мг/100 г. Необходимо отметить низкое содержание подвижного калия в горизонте AU на южном склоне на сланцах, сравнимое с минимальными значениями этого показателя в горизонте [Rjpa].

Склон южной экспозиции на известняке, подверженный более активному выветриванию, характеризуется максимальным содержанием карбонатов (> 12%), что обусловило сдвиг значений pH в щелочную область (рис. 2). На склоне северной экспозиции на известняках горизонты [Rjpa] характеризуются меньшим содержанием карбонатов и более низкими значениями pH. При этом горизонты AU на склонах разной экспозиции по содержанию CO_2 карбонатов различаются незначительно. В профиле террас на аргиллитах, содержание карбонатов было на порядок меньше, чем на известняках. В то же время, в почвах южного склона значительный сдвиг pH в щелочную область также может быть связан с более активным выветриванием и спецификой водного режима почв.

Наибольшая активная микробная биомасса (С-СИД), была зафиксирована в первых 20 см почвенного профиля на известняках на склоне северной экспозиции (рис. 3.1), где значения С-СИД составляли 800 мкгС/г, что в 2-4 раза выше по сравнению с другими объектами. Незначительные пики С-СИД в слоях функционирования террас встречаются редко, и вероятно, связанны с короткими периодами забрасывания пашни.

Влияние экспозиции склона на уреазную активность (УА) было разнонаправленно – в почвах на сланцах УА была выше на склоне северной экспозиции, в то время как в почвах на известняках была выше на южном склоне (рис. 3.2).Фосфатазная активность (ФА) в почвах террас, как на сланцах, так и на известняках, на склонах северной экспозиции была выше, чем на южных склонах (рис. 3.3). Максимальная ФА была зафиксирована в верхней части склона террасы на глинистых сланцах. Активность фосфатазы, как и активная микробная биомасса, резко снижались в слое функционирования террас, но и здесь наблюдались незначительные пики. В горизонте с сохранившейся погребенной почвой наблюдается характерное повышение ФА.

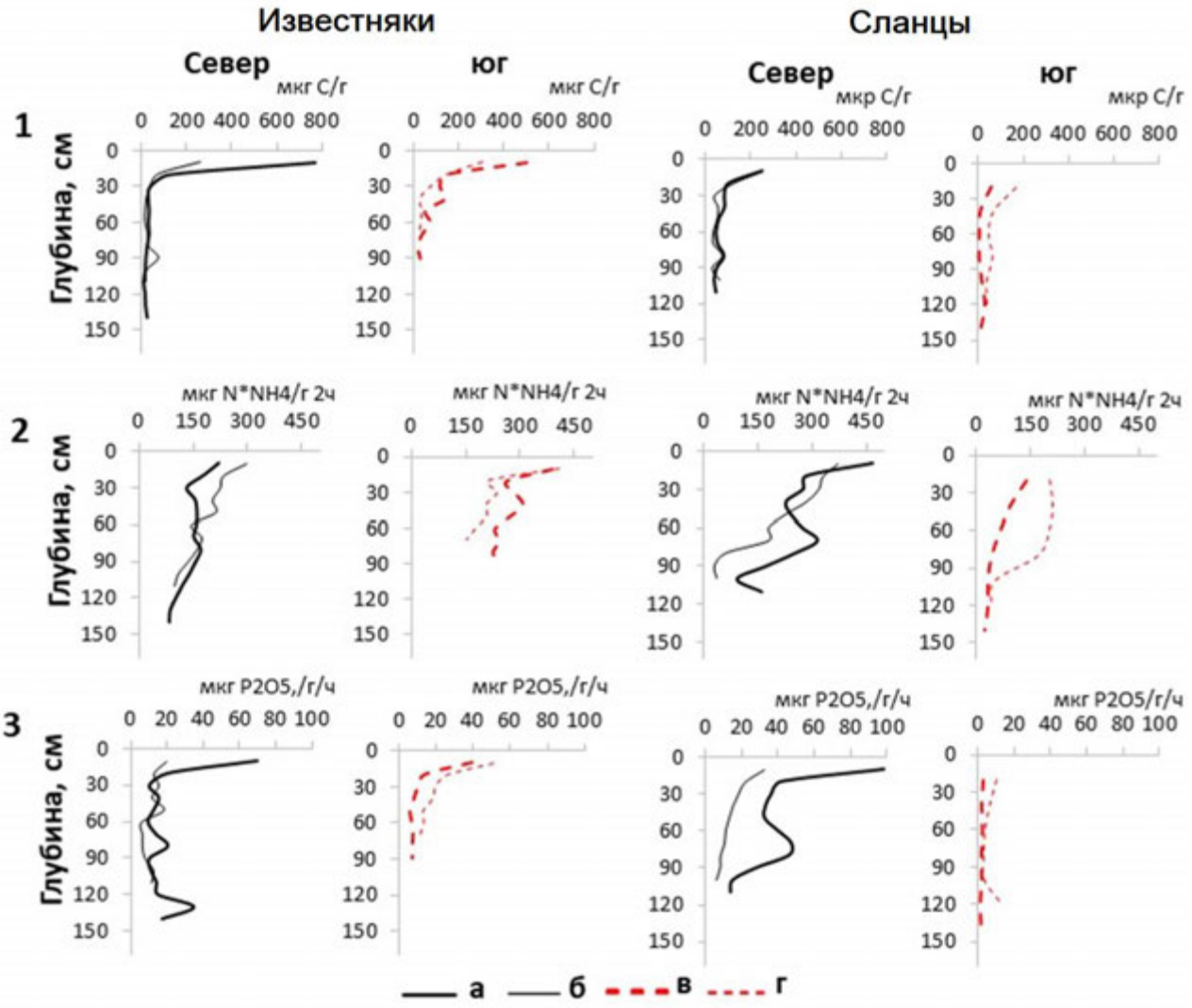


Рис. 3. Некоторые показатели биологической активности почв. *Условные обозначения:* 1 – микробная биомасса, 2 – активность фермента уреазы, 3 – активность фермента фосфатазы; тонкой линией показаны почвы в нижней части склона, толстой линией – в верхней части; а – верхняя часть склона северной экспозиции, б – нижняя часть склона северной экспозиции, в – верхняя часть склона южной экспозиции, г – нижняя склона южной экспозиции.

Численность микроорганизмов, растущих на богатой среде (БС) во всех случаях, была выше на склонах южной экспозиции (рис. 4). На глинистых сланцах это увеличение было выражено значительно интенсивнее, особенно в горизонтах запустения.

Численность олиготрофных микроорганизмов, растущих на почвенном агате (ПА), в террасных почвах на известняках, была выше на южных склонах, причем как в слоях функционирования террас, так и в горизонтах запустения. На глинистых сланцах, напротив, наблюдалось заметное уменьшение численности олиготрофных микроорганизмов в почвах склона южной экспозиции.

Метод главных компонент. Статистический анализ полученных данных проводили с помощью метода главных компонент по содержанию органического углерода ($C_{орг.}$), подвижных форм калия (K_2O) и фосфора (P_2O_5), активной микробной биомассе, уреазной активности, емкости катионного обмена и pH (рис. 5 А). В фоновых почвах на аргиллитах содержание $C_{орг.}$ на склоне северной экспозиции в горизонте AU было значительно выше, чем на склоне южной экспозиции (рис. 5 Б). Такая же закономерность выявлена для емкости катионного обмена – показателя, имеющего тесную связь с органическим углеродом. В слоях функционирования террас на известняках (рис. 5 В) и сланцах (рис. 5 Г) эти различия выражены заметно слабее.

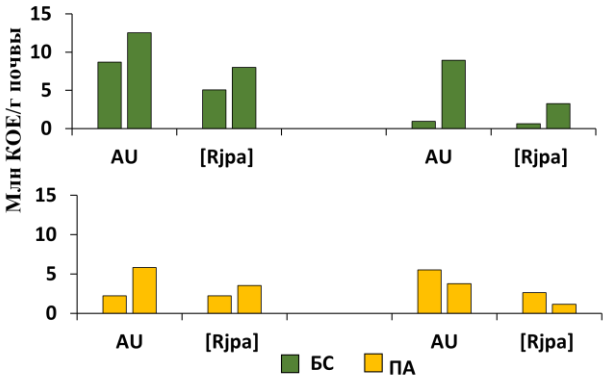


Рис. 4. Численность КОЕ микроорганизмов, растущих на богатой среде (БС) и на почвенном агаре (ПА) в слоях запустения (гор. AU) и слоях функционирования террас (в гор. [Rjpa]) (усредненные данные по двум почвенным разрезам, заложенным в нижней и верхней части склона).

Обнаружена корреляция между микробной биомассой и уреазной активностью (r = 0.6; рис. 5 а). Варьирование этих двух биологических показателей в пахотных горизонтах [Rjpa] во многом связано с нормами внесения удобрений в прошлом, а в поверхностном слое почв эти показатели зависят от интенсивности выпаса скота и соотношения стравливаемой фитомассы и поступающих в почвы экскрементов скота. Характерно, что микробиологические показатели верхних горизонтов почв террас на глинистых сланцах, приуроченных к склонам различных экспозиций (рис. 5 г), различались в меньшей степени по сравнению с фоновыми почвами (рис. 5 б). Иная закономерность выявлена в террасных почвах, сформированных на известняках, где микробиологические показатели на склоне южной экспозиции были сравнимы с показателями на северном склоне (рис. 5 в).

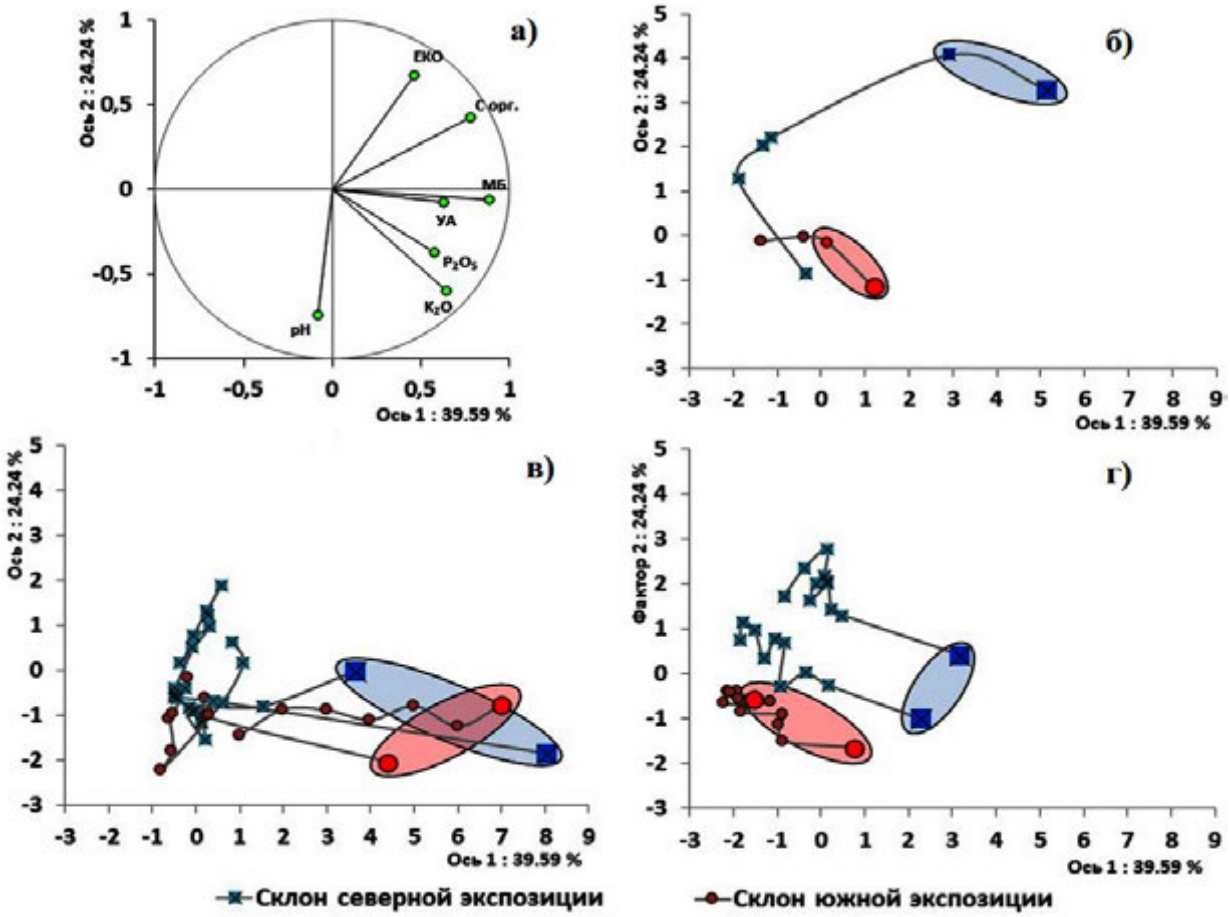


Рис. 5. Проекции химических и биологических характеристик почв (а) и диаграммы рассеивания: фоновых почв на аргиллитах (б), террасовых почв на известняках (в) и террасовых почв на аргиллитах (г).

Мы полагаем, что это произошло за счёт больших норм удобрений, вносимых в период функционирования террас (что подтверждается большим количеством керамики и бытового мусора в почвах). В данном случае, очевидно, антропогенное воздействие снивелировало влияние экспозиции склона на почвенные свойства.

Выводы

Формирование горизонтальной террасной поверхности создает условия для более равномерного поступления солнечной радиации на склоны северной и южной экспозиции, приводя к конвергенции почвенных свойств, что наиболее заметно для содержания органического углерода, микробной биомассы и уреазной активности.

Конвергенция почвенных свойств, вызванная террасированием склонов, практически не проявляется в аридной зоне Восточного Кавказа. Здесь на крутых склонах с небольшими террасами выявлены максимальные различия свойств почв на склонах северной и южной экспозиции. Но и в этом случае различия меньше, чем в фоновых почвах на не террасированных склонах.

Нивелирующий эффект террасирования наиболее заметен на относительно пологих склонах (5-15°) с наибольшей шириной террасного полотна. На крутых склонах с узкими террасами, площадь которых незначительна в сравнении с общей площадью макросклона, влияние экспозиции склона на почвенные свойства сохраняется.

При этом такие факторы, как длительность сельскохозяйственного использования территории и высокие нормы удобрений, зачастую, оказываются определяющими, и их влияние на свойства террасовых почв превышает влияние, как экспозиции склона, так и описанного выше нивелирующего эффекта террасирования.

Финансирование. Химические и микробиологические анализы выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ “Антропогенные почвы земледельческих террас Кавказа” № 19-29-05205, 2019 год. Полевые работы в 2019 г. проводились в рамках Госзадания № 0191-2019-0046.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Акаев Б.А., Атаев З.В., Гаджиев Б.С., Гаджиева З.Х., Ганиев М.И., Гасангусейнов М.Г., Залибеков З.М., Исмаилов Ш.И., Каспаров С.А., Лепехина А.А., Мусаев В.О., Рабаданов Р.М., Соболев Д.В., Сурмачевский В.И., Тагиров Б.Д., Эльдаров Э.М. 1996. Физическая география Дагестана / Ред. Б.А. Акаев. Махачкала: Учебное пособие. 392 с.

Аринушкина Е.В. 1970. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ. 490 с.

Бабаева М.А. 2002. Закономерности распределения содержания гумуса в почвах Дагестана // Аридные экосистемы. Т. 8. № 17. С. 68-72.

Баламирзоев М.А., Мирзоев Э.Р., Аджиев А.М., Муфараджев К.Г. 2008. Почвы Дагестана // Экологические аспекты их рационального использования. Махачкала: Дагестанское книжное издательство. 336 с.

Борисов А.В., Каширская Н.Н., Ельцов М.В., Пинской В.Н., Плеханова Л.Н., Идрисов И.А. 2021. Почвы древних земледельческих террас Восточного Кавказа // Почвоведение. № 5. С. 1-16. [*Borisov A.V., Kashirskaya N.N., El’tsov M.V., Pinskoy V.N., Plekhanova L.N., Idrisov I.A.* 2021. Soils of Ancient Agricultural Terraces of the Eastern Caucasus // Eurasian Soil Science. Vol. 50. No. 5. P. 665-679.]

Владыченский А.С. 1998. Особенности горного почвообразования / Ред. Л.О. Карпачевский, Д.И. Щеглов. М.: Наука. 191 с.

Воробьева Л.А. 1998. Химический анализ почв / Ред. Н.Б. Хитров. М.: Изд-во МГУ. 272 с.

Демкина Т.С., Борисов А.В., Демкин В.А., Хомутова Т.Э., Кузнецова Т.В., Ельцов М.В., Удальцов С.Н. 2017. Палеоэкологический кризис в степях Нижнего Поволжья в эпоху средней бронзы (рубеж III-II тыс. до н. э.) // Почвоведение. № 7. С. 799-813. [*Demkina T.S., Borisov A.V., Demkin V.A., Khomutova T.E., Kuznetsova T.V., El’tsov M.V., Udal’tsov S.N.* 2017. Paleoecological Crisis in the Steppes of the Lower Volga Region in the Middle of the Bronze Age (III-II centuries BC) // Eurasian Soil Science. Vol. 50. No. 7. P. 791-804.]

Залибеков З.Г. 1982. Классификации и диагностика почв Дагестана. Махачкала: Изд-во Дагестанского центра АН СССР. 84 с.

Залибеков З.Г. 2010. Почвы Дагестана. Махачкала: Изд-во ДГУ. 243 с.

Каширская Н.Н., Чернышева Е.В., Ходжаева А.К., Борисов А.В. 2017. Биологическая активность горных антропогенных почв средневековых земледельческих террас горного Дагестана // Аридные экосистемы. Т. 17. № 1 (70). С. 5-16. [*Kashirskaya N.N., Chernisheva E.V., Khodzaeva A.K., Borisov A.V.* 2017. Biological activity of anthropogenic mountain soils of medieval agricultural terraces of mountainous Dagestan // Arid

Ecosystems. Vol. 7. No. 1. P. 1-10.]

Кондратьев К.Я., Пивоварова З.И., Федоров М.П. 1978. Радиационный режим наклонных поверхностей / Ред. П.Я. Кондратьев. Л.: Гидрометеоиздат. 215 с.

Практикум по почвоведению. 1973 / Ред. И.С. Кауричев. М.: Колос. 279 с.

Ромашкевич А.И., Давыдова М.В., Лотов Р.А. 1993. Современный и древний педогенез в некоторых ландшафтах внутреннего Дагестана // Почвоведение. № 3. С.15-24.

Русланов А.М., Милякова Е.А. 2005. Влияние экспозиции склона на свойства южных черноземов Предуралья // Почвоведение. Т. 38. № 6. С. 569-575. [*Rusanov A.M., Milyakova E.A.* 2005. The Effect of Slope Aspect on the Properties of Southern Chernozems in the Cis-Ural Region // Eurasian Soil Science. Vol. 38. No. 6. P. 569-575.]

Спирина В.З., Раудина Т.В. 2015. Особенности почвообразования и пространственного распространения почв высокогорных склонов Юго-Восточного Алтая // Вестник Томского государственного университета. Серия Биология. № 2 (30). С. 6-19.

Хазиев Ф.Х. 2005. Методы почвенной энзимологии / Ред. Н.А. Киреева, А.И. Мелентьев. М.: Наука. 252 с.

Чуян Г.А., Ермаков В.В., Чуян С.И. 1987. Агрохимические свойства типичного чернозема в зависимости от экспозиции склона // Почвоведение. № 12. С. 39-46.

Anderson J.P.E., Domsch K.H.A. 1978. Physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biology and Biochemistry. Vol. 10 (3). P. 215-221.

Cambi M., Giambastiani Y.; Giannetti F.; Nuti E., Dani A., Preti F. 2021. Integrated Low-Cost Approach for Measuring the State of Conservation of Agricultural Terraces in Tuscany, Italy // Water. Vol. 13 (113).

Die C., Wei W., Liding C. 2021. Effects of terracing on soil properties in three key mountainous regions of China // Geography and Sustainability. Vol. 2 (3). P. 195-206.

Sandor J.A., Huckleberry G., Hayashida F.M., Parcero-Oubiña C., Salazar D., Troncoso A., Ferro-Vázquez C. 2021. Soils in ancient irrigated agricultural terraces in the Atacama Desert, Chile // Geoarchaeology. Vol. 1. P. 96-119.

Kandeler E., Gerber H. 1988. Short-term assay of urease activity using colorimetric determination of ammonium // Biology and fertility of soils. Vol. 6 (1). P. 68-72.

Krzywinski M., Altman N. 2014. Visualizing samples with box plots // Nature methods. Vol. 11 (2). 119-120.

Azaiez N., Alleoua A., Baazaoui N., Qhtani N. 2020. Assessment of Soil Loss in the Mirabah Basin: An Overview of the Potential of Agricultural Terraces as Ancestral Practices (Saudi Arabia) // Open Journal of Soil Science. Vol. 10 (05). Article ID: 100065.

Sabir M. 2021. The Terraces of the Anti-Atlas: From Abandonment to the Risk of Degradation of a Landscape Heritage // Water. Vol. 13 (510). [Электронный ресурс https://doi.org/10.3390/w13040510 (дата обращения 10.10.2021)].

Turner S., Kinnaird T., Varinlioğlu G., Şerifoğlu T.E., Koparal E., Demirciler V., Athanasoulis D., Ødegård K., Crow J., Jackson M., Bolòs J., Sánchez-Pardo J.C., Carrer F., Sanderson D., Turner A. 2021. Agricultural terraces in the Mediterranean: medieval intensification revealed by OSL profiling and dating // Antiquity. Vol. 95 (381). P. 773-790.

Cucchiaro S., Paliaga G., Fallu D.J., Pears B.R., Walsh K., Zhao P., Oost K.V., Snape L., Lang A., Brown A.G., Tarolli P. 2021. Volume estimation of soil stored in agricultural terrace systems: A geomorphometric approach // Catena. Vol. 207. P. 105687.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2022, том 28, № 2 (91), с. 122-131

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 631.41

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОПЕДОГЕНЕЗА НА МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ РЕКРЕАЦИОННЫХ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ СКВЕРА ИМ. САШИ ФИЛИППОВА)[1]

© 2022 г. О.А. Гордиенко

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН
Россия, 400062, г. Волгоград, Университетский просп., д. 97. E-mail: oleg.gordienko.95@bk.ru

Поступила в редакцию 06.08.2021. После доработки 05.10.2021. Принята к публикации 01.12.2021.

В работе изучены почвы озелененных рекреационных территорий урболандшафтов г. Волгограда на примере сквера им. Саши Филиппова. Почвенный покров сквера представлен типичными (Urbic Technosol), реплантированными (Urbic Technosol (Mollic)), техногенными (Urbic Technosols (Hyperartefactic)) урбостратоземами, реплантаземами (Phaeozem (Prototechnic)), а также урбостратоземами на погребенных каштановых почвах. Под зданиями и дорожными покрытиями находятся экранированные урбостратоземы (Ekranic Technosols). Наличие погребенных горизонтов позволяет утверждать, что исходный почвенный покров на этой территории был представлен каштановыми почвами (Haplic Kastanozems (Loamic)). Средняя мощность урбиковых горизонтов (UR) составляет 95 см, рекультивационных слоев (RAT) – 50 см. Почвы сквера по химическим и физическим свойствам разнообразны. Содержание почвенного углерода в урбиковых и рекультивационных горизонтах варьирует от 0.11% до 2.46%. Химический анализ урбиковых и насыпных горизонтов выявил низкое содержание легкорастворимых солей (0.11%) и карбонатов (1%). В слоях и антропогенных горизонтах RAT и UR показатели плотности составляют в среднем 1.43-1.46 г/см^3. Значение плотности погребенных горизонтов в среднем составляет 1.58 г/см^3 для BMK, 1.62 г/см^3 для B, 1.53 г/см^3 для BCA, что выше средних показателей плотности для нативных каштановых почв. В карбонатной почвообразующей породе Cca этот показатель в среднем составил 1.38 г/см^3. Полученные результаты позволяют более детально изучить особенности генезиса почв в городских рекреационных территориях и в условиях антропогенной трансформации природных каштановых почв в условиях сухостепной природной зоны.

Ключевые слова: рекреационные территории, классификация почв, городские почвы, урбостратоземы, реплантоземы, свойства почв, Urbic Technosols.
DOI: 10.24412/1993-3916-2022-2-122-131

Город Волгоград расположен в зоне распространения каштановых почв различного гранулометрического состава и степени солонцеватости (Haplic Kastanozems (Loamic) или (Haplic Kastanozems (Loamic, Sodic)). На автоморфных позициях они образуют трехчленный почвенный комплекс с солонцами светлыми (Calcic Solonetz), а также каштановыми квазиглееватыми почвами (Gleyic Kastanozems (Loamic); Гордиенко и др., 2019). При определении по международной классификации возможно применение квалификатора Calcic, т.к. они характеризуются низким содержанием $CaCO_3$ в карбонатных горизонтах (не более 9%). Почвы на территории города сильно изменены. Антропогенно-преобразованные почвы представлены главным образом урбостратоземами (Urbic Technosols; Гордиенко и др., 2019). Главным фактором почвообразования является урбаногенный. Огромным трансформациям почвенный покров подвергся во время Сталинградской битвы, когда город был почти полностью разрушен (94.5% жилого фонда). Вместо уничтоженного почвенного слоя почти всюду сформировался слой насыпного грунта, состоящий из битого кирпича, пепла, стекла, бытового мусора, а также артефактов военного характера.

Считается, что почвы в промышленных и жилых районах городов существенно нарушены, однако рекреационные территории являются по сути «оазисами» с ненарушенными или слабо

нарушенными почвами (Строганова, Раппорт, 2005). Т.к. генезис почв урбанизированных территорий носит синседиментогенный характер, то в рекреационных зонах природные почвенные горизонты могут быть погребены без существенного изменения (Prokof'eva, Poputnikov, 2010). Таким образом, почвы рекреационных территорий могут являться книгоподобным типом памяти, характерным для седиментов (Таргульян, 2008).

Актуальность исследования почвенного покрова в городских парках, садах, скверах и на других территориях обусловлена их экологической и рекреационной ролью. Исследования почв рекреационных территорий проводились во многих крупных городах России и мира. В Волгограде (Надточий, Околелова, 2007) изучение почв рекреационных территорий носит несистемный характер и в ряде случаев ограничивается определенной областью исследования. Достаточно часто исследования заключались только в определении содержания тяжелых металлов (ТМ), как в случае с городами Волгоградом (Tikhonova et al., 2020), Синдзюку (Murata et al., 2019), Нанкин (Wang et al., 2016), Брно (Hladky et al., 2019) и Нью-Йорком (Paltseva et al., 2020). Исследования авторов в пригородах Базеля (Amrein et al., 2005), в Хельсинской агломерации (Hamberg, 2009) были направлены на изучение влияния рекреационной нагрузки на состояние травяных сообществ и уплотнение почвы. В рекреационных зонах Мурманска, Ростова-на-Дону (Dvornikov et al., 2021), Торуни (Charzynski et al., 2018) и Людова (Jaroszuk-Sierocinska, Slowinska-Jurkiewicz, 2018) исследования были направлены исключительно на определение химических свойств почв (содержание органического вещества и фракционный состав гумуса). В то время как в парковых зонах Владивостока (Жарикова, 2012) вниманию подлежали только физические параметры, включая определение плотности почв, плотности твердой фазы и водных свойств.

Комплексное изучение физических, химических, санитарных свойств почв, а также их картографирование проводились в Москве (Prokof'eva et al., 2017), Санкт-Петербурге (Матинян и др., 2019), Перми (Еремченко и др., 2016), Ростове (Безуглова и др., 2018) и Кракове (Musielok et al., 2018).

Как для Волгограда, так и для большинства городов сухостепной зоны особенно актуальны вопросы, связанные с озеленением, поскольку в этих городах фиксируется низкая обеспеченность защитными насаждениями (11-13 м^2/чел. из рекомендованных 24.6 м^2/чел. для крупных городов; СП 42.13330.2016).

Целью работы являлось определение классификационного положения почв озелененных рекреационных территорий г. Волгограда, а также изучение их физических и химических свойств в зависимости от уровня антропогенной нагрузки.

Материалы и методы

Объектом исследования являлись почвы и техногенные поверхностные образования сквера им. Саши Филиппова. Сквер является востребованным рекреационным объектом, расположенным в центре города и функционирующим более 60 лет. Климатические условия Волгограда характеризуются засушливостью климата, резкими колебаниями температуры воздуха, сильными ветрами, неустойчивым режимом увлажнения. Участок расположен на первой террасе правобережной части долины р. Волга (рис. 1). Несмотря на относительно малую площадь сквера (2.2 га), он является одним из наиболее крупных рекреационных образований в городе, где средняя площадь скверов составляет 1.2 га (Гордиенко, 2021).

До Великой Отечественной войны на месте сквера находилась Зацарицынская базарная площадь. Она была запланирована в 1820 г. императором Александром I, утвердившим первый генеральный план городской застройки города. В 1952 г. сквер был спроектирован архитектором И. Арутюновой. В 2006 и 2015 гг. сквер был реконструирован. Старое асфальтное покрытие было заменено на брусчатку, были высажены новые деревья: каштаны, липы, ели и сосны (Шевченко, 2015).

Территорию объекта исследования условно можно разделить на поливаемую и неполиваемую (рис. 1). На части территорий полив прекратился сравнительно недавно, что напрямую отразилось как на морфологических, так и химических свойствах почв. Согласно данным геоинформационного анализа, установлено, что на долю запечатанных поверхностей приходится 24% территории сквера. Открытых и озелененных участков – 76% (Гордиенко, 2021).

Полевые исследования проведены в июне-августе 2019 г. В ходе работ на территории исследуемого участка было заложено 7 почвенных разрезов (рис. 2). Разрезы SF1 и SF5 заложены в крайней западной и восточной точках участка, в посадках сосны без искусственного полива. Разрезы SF2 и SF6 – в розарии, на газоне с искусственным поливом. Разрез SF3 – под газонной растительностью с ограничением его использования в качестве зоны отдыха, SF4 – около выхода из сквера без полива, с естественной рудеральной растительностью, SF7 – в восточной части сквера, с местом хранения скошенной газонной травы. В ходе описания было установлено, что в некоторых разрезах фиксируются погребенные горизонты типичных каштановых почв (Haplic Kastanozems (Loamic)).

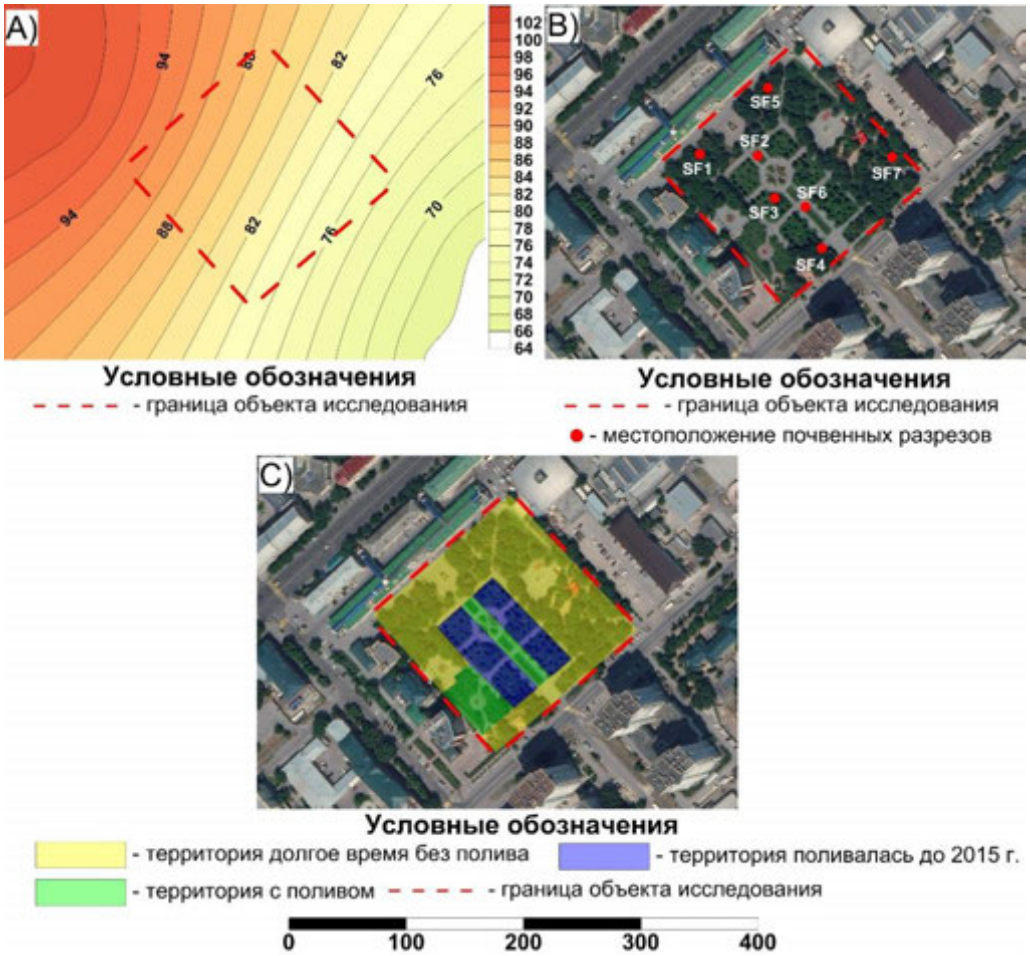


Рис. 1. Картосхемы объекта исследования: A) карта рельефа территории; B) расположение почвенных разрезов; C) полив территории.

Из разрезов погоризонтно отбирались образцы на всю мощность профиля. Названия почв даны в соответствии с «Полевым определителем почв России» (2008) и мировой реферативной базой почвенных ресурсов (IUSS ..., 2014). Непосредственно для классификации городских почв использовалась классификация Т.В. Прокофьевой с соавторами (2014).

Техногенно-поверхностные образования и почвы рекреационной зоны обычно идентифицируются как реплантаземы и урбостратоземы (Прокофьева и др., 2014). Для реплантаземов (Gleyic Phaeozem (Prototechnic) или Urbic Technosols) характерно наличие реплантанированных горизонтов (RAT), отличающихся высоким содержанием органического вещества и фосфора, а для урбостратоземов (Urbic Technosols) – горизонтов урбик (UR), в которых содержится высокое (>20% от объема материала горизонта) количество включений, представленных обломками стройматериалов и отходами, накопленными в процессе функционирования человеческих поселений.

В ходе лабораторных исследований были определены следующие показатели. Водородный

показатель (pH) водной вытяжки измерялся потенциометрическим методом при помощи pH-метра-милливольтметра pH-410, общее содержание солей определялось инструментально с использованием кондуктометра HI98302 DiST 2. Содержание органического углерода – по Б.А. Никитину, с колориметрическим окончанием по Орлову-Гриндель. Содержание карбонатов – ацидиметрически. Определение подвижных соединений фосфора – по методу Мачигина в модификации Центрального института агрохимического обслуживания. Все эти анализы были сделаны с использованием руководства по химическому составу почв (Van Reeuwijk, 2002). В полевых условиях определялся гранулометрический состав почвенных горизонтов солгласно руководству по описанию почв (Guidelines ..., 2012). Отдельно определялась плотность почв методом режущего кольца (Guidelines ..., 2012).

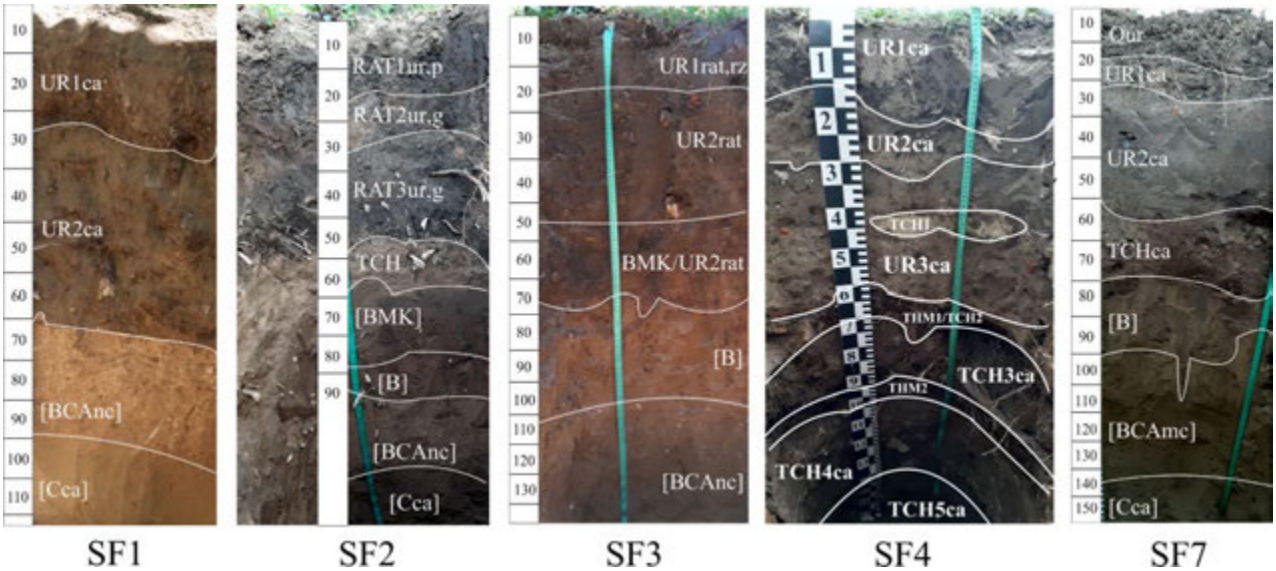


Рис. 2. Профили почв объекта исследования.

Результаты и обсуждение

Почвенный покров исследуемого сквера представлен в основном типичными (Urbic Technosol), реплантированными (Urbic Technosol (Mollic)), техногенными (Urbic Technosols (Hyperartefactic)) урбостратоземами, реплантаземами (Phaeozem (Prototechnic)) под газоном и в розарии, урбостратоземами на погребенных каштановых почвах, а также абраземах аккумулятивно-карбонатных (Urbic Technosol (Calcic)). Под зданиями и дорожными покрытиями – экранированные урбостратоземы (Ekranic Technosols; табл. 1). При описании почвенных разрезов были зафиксированы погребенные горизонты типичных каштановых почв, что позволяет утверждать, что исходный почвенный покров на этой территории был представлен типичными каштановыми почвами (Haplic Kastanozems (Loamic)).

Морфологические особенности почвенных разрезов исследовательского участка выявили сильную степень преобразованности почвенных профилей. Средняя мощность урбиковых горизонтов (UR) составляет 95 см, рекультивационных слоев (RAT) – 50 см. Структура урбиковых горизонтов варьирует от мелкокомковатой на участках сравнительно недавно поливавшихся (URrat) до глыбистой на неполивных (UR). Гранулометрический состав урбиков по классификации ФАО – опесчаненный суглинок или суглинок, техногенных слоев (TCH) – супесь, рекультивационных слоев – суглинок. Антропогенные горизонты содержат < 30% (от объема материала горизонта) включений строительного и бытового мусора. Границы между горизонтами ровные в антропогенных горизонтах и волнистые в естественных погребенных. Переходы между антропогенными горизонтами резкие, а между естественными – заметные. Вскипание с поверхности не отмечается в разрезах SF2, 3 и 6 из-за процессов выщелачивания в условия полива территории. Разрезы SF1, 5 и 7, находящиеся на территории сквера, не поливаются, поэтому здесь вскипание происходит с поверхности.

Как было отмечено ранее, в некоторых разрезах были зафиксированы погребенные горизонты природных почв. Абрадированная каштановая почва на месте разрезов SF1, 5 и 7 ранее на поверхности была покрыта реплантоземом с компостно-минеральным слоем (RAT), однако со временем произошла трансформация рекультивационного горизонта RAT сначала в гумусовый с признаками урбопедогенеза (AJur; нижняя часть современной гумусово-аккумулятивной толщи), а далее при постоянном привносе твердых аэральных выпадений, крупного мусора и других субстратов – в урбиковый горизонт (UR).

Таблица 1. Характеристики мест закладки почвенных разрезов исследуемого участка.

№ разреза	Координаты закладки	Название почвы по «Полевому ...» (2008)	Название почвы по WRB-2015 (IUSS ..., 2014)	Почвообразующая порода
SF1	48° 41' 43.13" с.ш., 44° 29' 55.11" в.д.	Урбостратозем типичный карбонатсодержащий слабо гумусированный среднесуглинистый на погребенном абраземе аккумулятивно-карбонатном	(Urbic Technosol (Loamic, Ochric, Calcic))	Лессовидные карбонатные суглинки
SF5	48° 41' 45.18" с.ш., 44° 29' 58.30"			
SF2	48° 41' 43.48" с.ш., 44° 29' 57.87" в.д.	Реплантазем глееватый карбонатсодержащий мало гумусированный суглинистый на погребенной каштановой почве	(Cambic Gleyic Phaeozem (Bathycalcic, Loamic, Humic))	
SF6	48° 41' 42.02" с.ш., 44° 29' 59.89" в.д.			
SF3	48° 41' 42.24" с.ш., 44° 29' 58.30" в.д.	Урбостратозем реплантированный бескарбонатный мало гумусированный среднесуглинистый на погребенной каштановой почве	(Urbic Technosol (Loamic, Humic, Mollic))	
SF7	48° 41' 43.57" с.ш., 44° 30' 03.45" в.д.	Урбостратозем типичный карбонатсодержащий слабо гумусированный среднесуглинистый на погребенной каштановой почве	(Urbic Technosol (Loamic, Humic, Mollic))	
СФ4	48° 41' 41.21" с.ш., 44° 30' 00.23" в.д.	Урбостратозем техногенный карбонатсодержащий мало гумусированный супесчаный	(Linic Urbic Technosol (Arenic, Calcaric, Humic, Hyperartefactic))	Техногенные отложения

В разрезах SF2, 6 и 3 морфологические особенности заключаются в высоком содержании органического вещества во всех горизонтах полуметровой толщи и в наличии верхних насыпных (SF2, 6) слоев (RAT) и урбиковых горизонтов (URrat; SF3), имеющих комковатую структуру за счет привноса компостно-минеральных смесей. Несмотря на общность морфологических признаков разрезов SF2, 3 и 6, в SF2 и SF6 содержится незначительное количество артефактов (< 5%), а также более высокое содержание органического вещества, что позволяет отнести их к группе техногенных поверхностных образований реплантоземов (Gleyic Phaeozem (Prototechnic)). Отдельно стоит отметить признаки оглеения в рекультивационных горизонтах разрезов SF2 и 6 в виде оливковых пятен, указывающих на периодическое переувлажнение в следствии полива. Разрез SF3 ввиду высокого содержания артефактов в слое 0-66 см определен нами как урбостратозем, однако по цветовым, морфологическим характеристикам и высокому содержанию углерода он отнесен к реплантированному подтипу (квалификатор Mollic).

Таблица 2. Физические и химические характеристики почв сквера.

Горизонт	Глубина, см	Цвет	pH водн.	$C_{орг}$, %	ρ г/см^3	$CaCO_3$, %	Содержание солей, %	P_2O_5, мг/кг	Гранулометрический состав (ФАО)
Разрез SF1									
UR1ca	0-35	10YR4/3	7.4	0.85	1.4	1.1	0.23	49	SiL
UR1ca	35-61	10YR6/4	7.6	0.45	н.о.	0.6.	0.33	н.о.	SL
[BCAnc]	61-95	2.5Y7/3	7.8	0.52	1.39	6.8	0.45	н.о.	CL
[Cca]	95-120	2.5Y6/3	8.2	0.11	1.21	н.о.	н.о.	н.о.	LS
Разрез SF2									
RAT1ur,p	0-20	10YR4/2	7.8	1.49	1.46	<1	0.2	66	LS
RAT2ur,g	20-29	10YR4/2	7.9	1.76	1.4	<1	0.22	52	CL
RAT3ur,g	29-48	10YR3/2	8.1	1.54	1.33	<1	0.27	н.о.	SL
TCH	48-60	–	н.о.	н.о.	1.5	<1	н.о.	н.о.	S
[BMK]	60-72	10YR4/4	8.1	0.68	н.о.	н.о.	0.19	н.о.	L
[B]	72-97	10YR4/3	8.2	0.69	1.54	н.о.	0.18	н.о.	CL
[BCAnc]	97-140	2.5Y7/3	7.8	0.51	1.63	7.7	0.21	н.о.	L
[Cca]	140-150	2.5Y6/3	8.2	н.о.	1.24	н.о.	н.о.	н.о.	LS
Разрез SF3									
UR1rat	0-16	10YR4/2	8.2	1.54	1.49	<1	0.12	78	SiL
UR2rat	16-45	10YR4/2	8.1	0.78	1.42	<1	0.12	75	SiL
BMK/ UR2rat	45-66	10YR4/2	8.1	0.86	1.58	<1	0.11	н.о.	L
[B]	66-98	7.5YR5/3	7.6	0.69	1.64	н.о.	0.15	н.о.	SiC
[BCAnc]	98-120	10YR5/3	8.2	0.43	1.57	1.4	0.13	н.о.	L
[Cca]	120-145	2.5Y6/3	8.2	0.34	1.69	н.о.	0.12	н.о.	LS
Разрез SF4									
UR1ca	0-22	10YR4/2	8.0	1.3	1.56	<1	0.31	47	SiL
UR2ca	20-32	10YR4/3	8.1	0.84	1.47	<1	0.18	н.о.	SL
UR3ca	32-61	10YR5/3	8.1	1.35	1.41	<1	0.32	н.о.	SiL
TCH1	40-44	–	н.о.	0.44	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	S
THM1/ TCH2	61-70	–	7.5	0.81	н.о.	1.5	0.3	н.о.	LS
TCH3ca	70-91	10YR5/2	7.2	2.46	1.32	н.о.	0.36	н.о.	LS
THM2	91-100	–	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	LS
TCH4ca	100-140	10YR8/1	7.3	0.43	1.45	1.3	0.32	н.о.	LS
TCH5ca	140-165	10YR5/2	7.4	0.59	н.о.	1.2	0.32	н.о.	LS
Разрез SF7									
Our	0-17	–	7.8	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	SiL
UR2ca	17-20	10YR5/3	8.2	1.4	1.42	1.2	0.12	75	L
UR2ca	20-25	10YR5/3	8.3	0.92	1.45	0.8	0.12	55	LS
TCH1ca	50-73	10YR5/4	8.1	0.49	1.57	1.3	0.10	43	LS
[B]	73-90	10YR4/3	7.6	0.7	1.69	н.о.	0.13	н.о.	L
[BCAmc]	90-135	10YR5/3	8.2	0.41	1.53	1.5	0.14	н.о.	L
[Cca]	135-160	–	8.2	0.3	1.63	н.о.	0.13	н.о.	LS

Примечания к таблице 2: н.о. – не определяли, ρ – плотность, S – песок, LS –супесь, SL – опесчаненный суглинок, SiL – пылеватый суглинок, CL – тяжелый суглинок, L – суглинок, SiC – пылеватая глина.

В большей части почвенных разрезов за исключением SF4 фиксируются погребенные горизонты каштановых почв. Так, в профилях SF2 и 3 погребенными оказались ксерометаморфический (BMK) и горизонт B. Верхняя граница этих горизонтов находится на уровне 60-70 см. Во всех разрезах за исключением SF7 сохранился аккумулятивно-карбонатный горизонт BCA. Верхняя его граница пролегает на глубине 85 см.

Почвы сквера по химическим свойствам отличаются значительным разнообразием. Так, содержание почвенного углерода в урбиковых и реплантанированных горизонтах варьирует от 0.11% до 2.46%. Увеличению содержания почвенного углерода способствует внесение компостных смесей, осаждение пылевых частиц из приземного слоя атмосферы, а также за счет оптимизации водного режима. Малое обусловлено недополучением органики вследствие уборки листового опада и удалением излишков травянистой растительности несколько раз в течение вегетационного периода. Содержание углерода в слое 0-30 см в среднем составляет 1.63% для горизонта RAT и 1.06% для UR. Реакция среды как для насыпных ($pH_{водн.}$ – 8), техногенных ($pH_{водн.}$ – 7.6) слоев, так и для урбиковых ($pH_{водн.}$ – 7.9) горизонтов – слабощелочная (средний $pH_{водн.}$ – 7.85). Профили почв промыты от легкорастворимых солей, общее солесодержание не превышает в среднем 0.1%. Содержание карбонатов в урбиковых горизонтах в среднем составляет 1%, в насыпных (RAT) и техногенных (TCH) – менее 1%. Такие малые значения содержания карбонатов кальция свидетельствуют о выщелоченности почвенных профилей, во-первых, из-за регулярного полива территории, во-вторых из-за низкой техногенной нагрузки на территорию, поскольку доказано, что в зонах интенсивного использования (селитебные и промышленные) происходит постоянное привнесение строительного мусора на дневную поверхность, благодаря чему почвы окарбоначиваются (Прокофьева и др., 2019). Химический анализ почвенных образцов выявил высокое содержание подвижного фосфора в рекультивационных горизонтах (59 мг/кг) и очень высокое в урбиковых горизонтах (62 мг/кг). Наиболее низкие (49 мг/кг) значения фосфора выявлены в почвах без подсыпок компостно-минеральных смесей. В горизонте URca1 разреза SF7, несмотря на отсутствие полива, зафиксированы максимальные для данной территории значения фосфора – 75 мг/кг. Несмотря на то что верхние горизонты (0-50 см) разрезов SF2, 3 и 6 демонстрируют признаки интенсивной зоогенной переработанности, высокое содержание почвенного углерода, они не могут быть диагностированы как горизонт Hortic по WRB, поскольку для горизонта Hortic WRB фиксирует очень высокое содержание фосфора (>100 мг/кг) как один из обязательных диагностических критериев.

Согласно оценке почв и земель (Богатырев и др., 2017), оценка лесопригодности почв и плодородия в целом осуществляется для гумусовых и переходных к гумусовым горизонтам. Поскольку в работе на дневной поверхности отсутствуют естественные гумусовые горизонты и вместо них располагаются урбиковые и реплантанированные, оценка плодородия и пригодности к выращиванию древесно-кустарниковой растительности производилась для них. Так, согласно градации почв по содержанию углерода (Орлов и др., 2004), в большинстве почвенных горизонтов фиксируется низкое значение $C_{орг.}$, малые значения характерны для урбиковых горизонтов без полива и подсыпок компостно-минеральными смесями. Реакция среды как для насыпных слоев, так и для урбиковых горизонтов – слабощелочная (средний $pH_{водн.}$ – 7.85) и в целом соответствует зональным значениям для естественного гумусо-аккумулятивного горизонта AJ. Содержание солей незначительное и, в общем, благоприятно для роста и развития древесно-кустарниковой растительности. Что касается плотности почвенных горизонтов, то согласно оптимальным диапазонам плотности (Бондарев, 1985) в большинстве горизонтов фиксируется превышение этого показателя.

Изучение физических свойств почв сквера показало, что с увеличением глубины взятия образца увеличивается плотность почвы. Эта тенденция характера для всех горизонтов, как природных, так и антропогенных. Наиболее ярко это проявляется в погребенных нативных горизонтах BMK, B и BCA. Значение плотности погребенных горизонтов в среднем составляет для BMK – 1.58 г/см^3, для B – 1.62 г/см^3, для BCA – 1.53 г/см^3, что выше средних показателей для нативных каштановых почв (Надточий, Околелова, 2007). В карбонатной почвообразующей породе Cca этот показатель в среднем составил 1.38 г/см^3. Возможно, это результат уплотняющего действия перекрывающей толщи; также нельзя исключать физическое переуплотнение, предшествующее их погребению.

В слоях и антропогенных горизонтах RAT и UR показатели плотности составляют в среднем 1.43-1.46 г/см^3 на глубине 0-30 см.

Выявленные физические и химические свойства почв сквера им. Саши Филиппова оцениваются как малоблагоприятные для роста и развития древесно-кустарниковой растительности. Для роста и развития, а также долговечности насаждений необходимо возобновить, полив на всех территории, а также регулярно вносить компостно-минеральные смеси.

Выводы

Исследования, проведенные на объекте, позволяют считать, что городские почвы рекреационных территорий являются следствием одновременного влияния зональных природно-климатических и урбаногенных факторов почвообразования.

Заложенные на территории сквера почвенные разрезы позволяют утверждать, что почвы представляют собой двучленный профиль. В этом случае наблюдается накопление техногенного субстрата над естественными (ныне погребенными) горизонтами. Такие почвы обладают книгоподобным типом памяти, при котором формирование новых синлитогенных горизонтов не сопровождается разрушением уже существующих. В профилях этих почв сохранились естественные горизонты благодаря отсутствию интенсивных воздействий на начальных этапах существования городской среды. Глубина залегания аккумулятивно-карбонатных горизонтов опускается в среднем на 40 см за счет увеличения мощности антропогенных горизонтов. Примерно на ту же величину возрастает мощность антропогенных. Их характер явственно меняется с природного светлогумусового (AJ) на урбиковый (UR) с характерными формами границ, наличием включений строительного и бытового мусора и др. Таким образом, светлогумусовые горизонты замещаются урбиковыми и продолжают развитие профиля вверх.

При проведении исследований в сквере был обнаружен ряд признаков антропогенной трансформации почв. Для участка характерными видами трансформации были: перекопка, перекрытие аллохтонным и непроницаемым материалом, подщелачивание почвы, а также накопление органического вещества в результате использования систематических подсыпок компостно-минеральными смесями. Другой ключевой антропогенной особенностью, считающейся типичной для садово-парковых почв, является высокое (до 1.7%) содержание органического углерода. Однако высокие значения углерода наблюдаются лишь в почвах с систематическим поливом и регулярными подсыпками. На участках без полива и подсыпок его значения не превышают в среднем 1%.

Полученные результаты позволяют более детально изучить особенности генезиса почв в городских рекреационных территориях и антропогенной трансформации природных каштановых почв в условиях сухостепной почвенной зоны. Выявленные физические и химические свойства почв сквера им. Саши Филиппова оцениваются как малоблагоприятные для роста и развития древесно-кустарниковой растительности. Для роста и развития, а также долговечности насаждений необходимо возобновить полив на всей территории, а также регулярно вносить компостно-минеральные смеси. Определение свойств почв рекреационных территорий позволит усовершенствовать подбор древесно-кустарниковой растительности в целях повышения эффективности озеленения.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 20-34-90129 «Почвы рекреационных территорий г. Волгограда: разнообразие, свойства, экологические функции».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Безуглова О.С., Тагивердиев С.С., Горбов С.Н. 2018. Физические характеристики городских почв Ростовской агломерации // Почвоведение. № 9. С. 1153-1159. [*Bezuglova O.S., Tagiverdiev S.S., Gorbov S.N.* 2018. Physical Properties of Urban Soils in Rostov Agglomeration // Eurasian Soil Science. Vol. 51. No. 9. P. 1105-1110.]

Богатырев Л.Г., Маслов М.Н., Бенедиктова А.И., Макаров М.И. 2017. Оценка почв и земель (основные показатели и критерии). Москва: ООО "МАКС Пресс. 192 с.

Бондарев А.Г. 1985. Агрофизические свойства и водный режим почв сухостепной зоны Поволжья, их изменение

и оптимизация в условиях орошения. Автореф. дис. ... доктора сельскохозяйственных наук. М. 45 с.

Гордиенко О.А. 2021. Определение запечатанности почв и грунтов функциональных зон г. Волгограда на основе данных дистанционного зондирования // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. № 107. С. 116-138.

Гордиенко О.А., Манаенков И.В., Холоденко А.В., Иванцова Е.А. 2019. Картографирование и оценка степени запечатанности почв города Волгограда // Почвоведение. № 11. С. 1383-1392. [*Gordienko O.A., Manaenkov I.V., Kholodenko A.V., Ivantsova E.A.* 2019. Mapping and Assessment of Sealing Rate of Soils in the City of Volgograd // Eurasian Soil Science. Vol. 52. No. 11. P. 1439-1446.]

Еремченко О.З., Шестаков И.Е., Москвина Н.В. 2016. Почвы и техногенные поверхностные образования урбанизированных территорий Пермского Прикамья. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет. 252 с.

Жарикова Е.А. 2012. Оценка основных свойств почв лесных и парковых территорий города Владивостока // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. № 1 (26). С. 40-46.

Матинян Н.Н., Бахматова К.А., Горбунова В.С., Шешукова А.А. 2019. Почвы Павловского парка (Санкт-Петербург) // Почвоведение. № 11. С. 1285-1294. [*Matinyan N.N., Bakhmatova K.A., Gorbunova V.S., Sheshukova A.A.* 2019. Soils of the Pavlovsk Park (Saint Petersburg) // Eurasian Soil Science. Vol. 52. No. 11. P. 1311-1320.]

Надточий И.В., Околелова А.А. 2007. Обследование рекреационных ландшафтов южной части Волгограда // Известия пензенского государственного педагогического университета им. В.Г. Белинского. № 7. С. 296-298.

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

Прокофьева Т.В., Герасимова М.И., Безуглова О.С., Бахматова К.А., Гольева А.А., Горбов С.Н., Жарикова Е.А., Матинян Н.Н., Наквасина Е.Н., Сивцева Н.И. 2014. Введение почв и почвоподобных образований городских территорий в классификацию почв России // Почвоведение. № 10. С. 1155-1164. [*Prokof'eva T.V., Gerasimova M.I., Bezuglova O.S., Bakhmatova K.A., Gol'eva A.A., Gorbov S.N., Zharikova E.A., Matinyan N.N., Nakvasina E.N., Sivtseva N.E.* 2014. Inclusion of Soils and Soil-Like Bodies of Urban Territories into the Russian Soil Classification System // Eurasian Soil Science. Vol. 47. No. 10. P. 959-967.]

СП 42.13330.2016. Свод правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89*". 2016. (утв. Приказом Минстроя России от 30.12.2016 N 1034/пр). М. 125 с.

Строганова М.Н., Раппопорт А.В. 2005. Антропогенные почвы ботанических садов крупных городов южной тайги // Почвоведение. № 9. С. 1094-1101. [*Stroganova M.N., Rappoport A.V.* 2005. Specific Features of Anthropogenic Soils in Botanical Gardens of Metropolises in the Southern Taiga Subzone // Eurasian Soil Science. Vol. 38. No. 9. P. 966-972.]

Таргульян В.О. 2008. Память почв: формирование, носители, пространственно-временное разнообразие // Память почв: Почва как память биосферно-геосферно-антропосферных взаимодействий. М. С. 25-57.

Шевченко А.А. 2015. Рекреационное пространство региона: теоретические подходы в научных исследованиях // Социально-гуманитарные знания. № 9. С. 237-243.

Amrein D., Rusterholz H.P., Baur B. 2005. Disturbance of suburban Fagus forests by recreational activities: Effects on soil characteristics, aboveground vegetation and seed bank // Applied Vegetation Science. No. 8. P. 175-182.

Charzyński P., Bednarek R., Hudańska P., Świtoniak M. 2018. Issues related to classification of garden soils from the urban area of Toruń, Poland // Soil Science and Plant Nutrition. No. 64 (2). P. 132-137.

Dvornikov Y.A., Vasenev V.I., Romzaykina O.N., Grigorieva V.E., Dolgikh A.V., Korneykova M.V., Litvinov Y.A., Gorbov S.N., Gosse D.D. 2021. Projecting the urbanization effect on soil organic carbon stocks in polar and steppe areas of European Russia by remote sensing // Geoderma. Vol. 399. P. 115039.

Guidelines for soil description: Food and agriculture organization of the united nations. 2006. FOOD and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 109 p.

Hamberg L. 2009. The effects of habitat edges and trampling intensity on vegetation in urban forests. Academic dissertation. Doctoral thesis. Helsinki: University of Helsinki. P. 32.

Hladký J., Radziemska M., Klim M., Koudelkov Z., Bal L., Va M. 2019. Chemosphere Assessment of phytotoxicity, environmental and health risks of historical urban park soils Galiova // Chemosphere. No. 220. P. 678-686.

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

Jaroszuk-Sierocińska M., Słowińska-Jurkiewicz A. 2018.Physical status of soils of Park Ludowy in Lublin // Acta Agroph. No. 25 (2). P. 213-225.

Murata T., Nobuo K., Uoi N., Watanabe M. 2019. Soils in Historical Urban Parks. Anthropogenic Soils in Japan // International Perspectives in Geography (AJG Library). Singapore: Springer. P. 39-57.

Musielok D.M., Stolarczyk M., Szczechowska K., Wątły M. 2018. Rates of anthropogenic transformation of soils in the Botanical Garden of Jagiellonian University in Kraków (Poland) // Catena. No. 170. P. 272-282.

Paltseva A., Cheng Z., Egendorf S.P., Groffman P.M. 2020. Remediation of an Urban Garden with Elevated Levels of Soil Contamination // Science of the Total Environment. P. 137965.

Prokof'eva T.V., Poputnikov V.O. 2010. Anthropogenic transformation of soils in the Pokrovskoe-Streshnevo park (Moscow) and adjacent residential areas // Eurasian Soil Science. No. 6. P. 701-711.

Prokof'eva T.V., Kiryushin A.V., Shishkov V.A. 2017. The importance of dust material in urban soil formation: the experience on study of two young Technosols on dust depositions // Journal of Soils Sediments. No. 17. P. 515-524.

Tikhonova A.A., Polovinkina Y.S., Gordienko O.A. 2020.Features of the monitoring organization of heavy metals in the soil cover of the urban environment // Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference "Anthropogenic Transformation of Geospace: Nature, Economy, Society". P. 286-291.

Van Reeuwijk L.P. 2002. Procedures for soil analysis. ISRIC-FAO. ISRIC Technical Paper No. 9, 6th ed. P. 119.

Wang W., Lai Y., Ma Y., Liu Z., Wang S., Hong C. 2016. Heavy metal contamination of urban topsoil in a petrochemical industrial city in Xinjiang, China // Journal of Arid Land. No. 8. P. 871-880.

ISSN 1993-3916

ЖУРНАЛ АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ 2022. Т. 28. № 2 (91)

Учредители: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Прикаспийский институт биологических ресурсов Дагестанского научного центра РАН (ПИБР ДНЦ РАН), Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных проблем РАН (ИВП РАН), Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии Дагестанского научного центра РАН (ИГ ДНЦ РАН).

Свидетельство о регистрации средства массовой информации в Роскомнадзоре (Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций) – ПИ № ФС77-56164 от 15 ноября 2013 г. Подписано в печать 31 мая 2022 г.

ТОВАРИЩЕСТВО НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ КМК

Формат 60x 84 $^{1}/_{8}$	Объем 21 п.л.
Тираж 200 экз.	Заказ №

Тиражировано в типографии ИП Гаджиева С.С.
367025, Махачкала, ул. Юсупова, 47
RIZO-PRESS, Тел. 8(8722) 68-40-21

Распространяется
только по подписке

Индекс 39775 (интернет каталог «Пресса России»)

https://www.pressa-rf.ru/

Подписка на газеты и журналы на 2022 год Почта России

Оформить подписку на журнал «Аридные экосистемы» можно только онлайн. Цена подписки на издание за минимальный подписной период — **816.70** руб. Стоимость за весь период (4 номера) — **3397.4 ₽.** Оплата подписки производится через филиалы Сбербанка РФ (для физических лиц), по безналичному расчету (для юридических лиц), банковской картой «Visa» и «MasterCard», другими электронными способами оплаты через сервис "Робокасса". Доставка товара осуществляется ФГУП "Почта России" бандеролью по всей территории России. По Москве и Московской области для журналов доступна курьерская доставка.