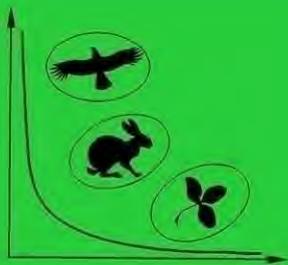


Том 6 Номер 3 Сентябрь 2022
Volume 6 Number 3 September 2022



ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
WATER PROBLEMS INSTITUTE
RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

**ЭКОСИСТЕМЫ:
ЭКОЛОГИЯ И ДИНАМИКА
ECOSYSTEMS:
ECOLOGY AND DYNAMICS**

Журнал освещает результаты фундаментальных исследований и прикладных работ по изучению состояния, закономерностей процессов и динамики в природных, антропогенно созданных и/или антропогенно нарушенных экосистемах любого ранга (от биотопа до биосфера), а также в отдельных компонентах этих экосистем (как живых, так и неживых) повсеместно: во всех природных зонах и ландшафтах, на суше и в водной стихии. Статьи соответствующей тематики принимаются по следующим научным направлениям: география, биология, лесное и сельское хозяйство.

The journal highlights the results of fundamental and applied investigations on the study of the state, processes and dynamics in natural, anthropogenic and/or anthropogenically disturbed ecosystems of any scale (beginning from biotope and up to biosphere) as well as in separate components of those ecosystems (alive and lifeless) everywhere: in all natural zones and landscapes, on land and in the water. Papers on the related topics submitted to the journal should be related to the following branches of science: geography, biology, forest and agricultural management.

МОСКВА
MOSCOW

2022

WATER PROBLEMS INSTITUTE
RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

**ECOSYSTEMS:
ECOLOGY AND DYNAMICS**

Vol. 6, No. 3, 2022, September

Journal is founded in January 2017

Issued 4 times per year

Editor-in-Chief, Dr. geogr. Zh.V. Kuzmina

Editorial Council:

Corresponding member of the Russian Academy of Sciences V.I. Danilov-Danilyan,

Corresponding member of the Russian Academy of Sciences A.N. Gelfan

Academician of the Russian Academy of Sciences K.N. Kulik,

Corresponding member of the Russian Academy of Sciences V.V. Melikhov,

Academician of the Russian Academy of Sciences A.S. Rulev

Editorial Board:

M.V. Bolgov, E.I. Golubeva, T.V. Dikariova, N.G. Mazey, N.M. Novikova,

G.N. Ogureeva, E.I. Pankova, S.A. Podolskiy, E.G. Suslova, A.S. Viktorov,

M.F. Vundtsettel, L.G. Yemelyanova

Executive Secretary:

E.I. Tobolova

Head of Editorial Office:

O.S. Grinchenko

Addresses of Editorial Offices:

Russia, 119333 Moscow, Gubkina str., 3, WPI RAS

Tel.: (499) 135-70-41. Fax: (499) 135-54-15

E-mail: dynamics-journal@yandex.ru

<http://www.ecosystemsdynamic.ru>

MOSCOW

2022

ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ЭКОСИСТЕМЫ: ЭКОЛОГИЯ И ДИНАМИКА

Том 6, № 3, 2022, сентябрь

Журнал основан в январе 2017 г.

Выходит 4 раза в год

Главный редактор

доктор географических наук

Ж.В. Кузьмина

Редакционный совет:

член-корреспондент Российской академии наук А.Н. Гельфан,

член-корреспондент Российской академии наук В.И. Данилов-Данильян,

академик Российской академии наук К.Н. Кулик,

член-корреспондент Российской академии наук В.В. Мелихов,

академик Российской академии наук А.С. Рулев

Редакционная коллегия:

М.В. Болгов, А.С. Викторов, М.Ф. Вундцеттель, Е.И. Голубева, Т.В. Дикарева,

Л.Г. Емельянова, Н.Г. Мазей, Н.М. Новикова, Г.Н. Огуреева, Е.И. Панкова,

С.А. Подольский, Е.Г. Суслова

Ответственный секретарь:

Е.И. Тоболова

Заведующий редакцией:

О.С. Гринченко

Адрес редакции:

Россия, 119333 Москва, ул. Губкина, д. 3, ИВП РАН

Телефон: (499) 135-70-41. Факс: (499) 135-54-15

E-mail: dynamics-journal@yandex.ru

<http://www.ecosystemsdynamic.ru>

Москва

2022

© Журнал основан в 2017 г.
Учрежден и издается

Институтом водных проблем Российской академии наук.

Журнал как сетевое издание зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций;

Свидетельство о регистрации: ЭЛ № ФС 77-68782 от 17.02.2017.

Журнал зарегистрирован в Национальном центре ISSN Российской Федерации,
в Национальном информационно-аналитическом центре России – ВИНИТИ,

а также в научных электронных библиотеках: РГБ (Российская государственная библиотека,
rsl.ru), БЕН РАН (Библиотека по естественным наукам Российской академии наук), НЭБ,
РИНЦ, КИБЕРЛЕНИНКА, Российская книжная палата.

The journal has been founded in 2017.

It was founded and published by the

Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences.

The Journal is registered in the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Communications (in Roskomnadzor) as a web Media;
Certification Number is ЭЛ № ФС 77-68782 of 17.02.2017.

The Journal is registered in National centre ISSN of Russian Federation,
All-Russian Institute for Scientific and Technical Information (VINITI),

and also in scientific electron libraries, such as RSL (Russian State Library, rsl.ru), Library of Natural Sciences of RAS, National Electronic Library, Elibrary, Science Index, CYBERLENINKA, Russian Book Chamber.

Информация о журнале, правила для авторов располагаются на сайте
<http://www.ecosystemsdynamic.ru>

Information about Journal and Rules for authors are at the site
<http://www.ecosystemsdynamic.ru>

СОДЕРЖАНИЕ

Том 6, номер 3, 2022 сентябрь

ДИНАМИКА ЭКОСИСТЕМ И ИХ КОМПОНЕНТОВ

Изменения во флористическом составе растительных сообществ юга
Архангельской области в XX веке
[на русском; аннотация на русском и английском]

E.A. Еремеева, Н.Б. Леонова 5-26

Changes in the Flora Composition of Plant Communities
in the Southern Arkhangelsk Region in the 20th Century
[на английском; аннотация на английском и русском]

E.A. Eremeeva, N.B. Leonova 27-47

МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ, ПОДДЕРЖАНИЯ И СОХРАНЕНИЯ ЭКОСИСТЕМ И ИХ КОМПОНЕНТОВ

К методике мониторинга локального переувлажнения агроэкосистем в степной зоне
[на русском; аннотация на русском и английском]

Н.М. Новикова, Н.А. Волкова, О.Г. Назаренко 48-67

On the Methodology of Monitoring of the Local Waterlogging
in the Steppe Zone Agroecosystems
[на английском; аннотация на английском и русском]

N.M. Novikova, N.A. Volkova, O.G. Nazarenko 68-86

Показатели изменений популяционных группировок млекопитающих
зоны влияния Зейского водохранилища под воздействием
природных и антропогенных факторов
[на русском; аннотация на русском и английском]

С.А. Подольский, Т.А. Доманов, Е.К. Красикова, Л.Ю. Левик, К.П. Павлова 87-103

Indicators of Changes in Population Groups of Mammals in the Influence
Area of the Zeya Reservoir under the Impact of Natural and Anthropogenic
Factors [на английском; аннотация на английском и русском]

S.A. Podolsky, T.A. Domanov, E.K. Krasikova, L.Yu. Levik, K.P. Pavlova 104-119

РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ОХРАНА ЭКОСИСТЕМ И ИХ КОМПОНЕНТОВ

Экосистемы бассейна озера Байкал: цифровая карта и геоинформационная
база данных [на русском; аннотация на русском и английском]

*С.Н. Бажса, А.В. Андреев, Е.А. Богданов, Е.В. Данжалова, Ю.И. Дробышев,
И.А. Петухов, Ю.А. Рупышев* 120-171

CONTENTS

Volume 6, Number 3, 2022 September

DYNAMIC OF ECOSYSTEMS AND THEIR COMPONENTS

Changes in the Flora Composition of Plant Communities in the Southern Arkhangelsk Region in the 20th Century
[in Russian; Abstract is available in Russian and English]

E.A. Eremeeva, N.B. Leonova 5-26

Changes in the Flora Composition of Plant Communities
in the Southern Arkhangelsk Region in the 20th Century
[in English; Abstract is available in English and Russian]

E.A. Eremeeva, N.B. Leonova 27-47

METHODS FOR STUDY, MAINTENANCE AND PRESERVATION OF ECOSYSTEMS AND THEIR COMPONENTS

On the Methodology of Monitoring of the Local Waterlogging in the Steppe Zone Agroecosystems [in Russian; Abstract is available in Russian and English]

N.M. Novikova, N.A. Volkova, O.G. Nazarenko 48-67

On the Methodology of Monitoring of the Local Waterlogging
in the Steppe Zone Agroecosystems
[in English; Abstract is available in English and Russian]

N.M. Novikova, N.A. Volkova, O.G. Nazarenko 68-86

Indicators of Changes in Population Groups of Mammals in the Influence Area
of the Zeya Reservoir under the Impact of Natural and Anthropogenic Factors
[in Russian; Abstract is available in Russian and English]

S.A. Podolsky, T.A. Domanov, E.K. Krasikova, L.Yu. Levik, K.P. Pavlova 87-103

Indicators of Changes in Population Groups of Mammals in the Influence Area of
the Zeya Reservoir under the Impact of Natural and Anthropogenic Factors
[in English; Abstract is available in English and Russian]

S.A. Podolsky, T.A. Domanov, E.K. Krasikova, L.Yu. Levik, K.P. Pavlova 104-119

DISTRIBUTION AND PROTECTION OF ECOSYSTEMS AND THEIR COMPONENTS

Ecosystems of the Baikal Basin: Digital Map and Geoinformation Database
[in Russian; Abstract is available in Russian and English]

*S.N. Bazha, A.V. Andreev, E.A. Bogdanov, E.V. Danzhalova, Yu.I. Drobyshev,
I.A. Petukhov, Yu.A. Rupyshev* 120-171

ДИНАМИКА ЭКОСИСТЕМ И ИХ КОМПОНЕНТОВ

УДК 574.91/581.91

ИЗМЕНЕНИЯ ВО ФЛОРИСТИЧЕСКОМ СОСТАВЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ ЮГА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ В ХХ ВЕКЕ

© 2022 г. Е.А. Еремеева, Н.Б. Леонова

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
Россия, 119899, г. Москва, Воробьевы горы, ГСП-1. E-mail: nbleonova2@gmail.com

Поступила в редакцию 06.06.2022. После доработки 30.08.2022. Принята к публикации 01.09.2022.

Исследование посвящено изучению изменений в видовом составе растительных сообществ среднетаежной территории на юге Архангельской области на основе анализа флористических сводок за разные временные периоды. По данным «Флоры Северного края» И.А. Перфильева (1934-1936) составлен и приведен к современной таксономической номенклатуре таксономический список высших сосудистых растений, произраставших на территории Устьянского района Архангельской области в начале XX века; проведен сравнительный анализ флористических списков начала XX века и современного, составленного для той же территории на начало XXI века. Выявлены различия в таксономическом, эколого-ценотическом и географическом составах разновременных списков видов сосудистых растений и отдельно в группах видов, изменивших статус присутствия/отсутствия на исследуемой территории. Изменения таксономического состава зафиксированы в отношении сокращения флористического списка на 140 видов сосудистых растений из 95 родов и 41 семейства, при этом вновь отмечены 69 видов из 57 родов и 31 семейства. При сохранении общего сходства таксономических спектров за оба периода отмечается увеличение таксонов из семейства крестоцветных и бобовых, сокращение представителей осоковых, лютиковых и орхидных. Рассчитаны коэффициенты флористического сходства, коэффициенты корреляции Спирмена и Кендалла, родовой коэффициент. При достаточно высоком сходстве флористических списков по Жаккарду коэффициенты корреляции показали слабую связь, а родовой коэффициент уменьшился, что в целом говорит о сокращении самобытности флоры и биологического разнообразия в ходе изменений окружающей среды.

Анализ эколого-ценотического состава видов сосудистых растений за два периода показал рост видов нарушенных местообитаний и сокращение видов растений, близких к коренным сообществам: неморальных, бореальных, водно-болотных.

Климатические изменения, в частности, теплый тренд повышения среднегодовых температур и увеличения сумм активных температур за изучаемый период, отразились на изменении флористического состава сообществ, а именно, уменьшилось число более холодостойких видов с гипоарктическо- boreальным ареалом, и появились некоторые теплолюбивые широколиственно-лесостепные и плоризональные виды. Согласно распределению числа видов по ступеням экологических шкал Ландольта, увеличилось число видов с повышенной потребностью в теплообеспеченности, а также мезоксерофитов. Также увеличилась доля чужеродных видов, среди которых большинство является пришельцами из более южных районов (*Galega orientalis* Lam., *Lupinus polyphyllus* Lindl., *Heracleum sosnowskyi* Manden.).

Ключевые слова: флористический состав, растительные сообщества, средняя тайга, эколого-ценотические элементы, ареалы, чужеродные виды.

DOI: 10.24412/2542-2006-2022-3-5-26

EDN: SEPECQ

В связи с изменениями окружающей среды, включая климатические, и ростом хозяйственного освоения с сопутствующим ему увеличением антропогенного пресса на природные экосистемы, видовой состав растительных сообществ претерпевает значительные изменения, что сказывается на уровне биологического разнообразия, исчезновении

некоторых видов растений и появлении новых для изучаемой территории. Климатические изменения, фиксируемые во второй половине XX века, вероятно, могут приводить к смещению границ ареалов некоторых видов, что также отражается в видовом составе растительных сообществ.

Анализ списков исчезнувших и вновь появившихся видов растений, их эколого-ценотические и географические характеристики могут служить индикаторами изменений природной среды и дать основание для прогноза развития растительных сообществ в будущем, дать представление о потенциальной флоре региона. Многие современные работы геоботаников концентрируют внимание на потенциальной флоре в связи с проблемой оценки и сохранения биологического разнообразия (Морозова, 2009; Смирнова и др., 2015, Worz, Thiv, 2015; Смирнова, Торопова, 2016). Однако достаточно редко имеется возможность сравнить флористические списки конкретного района, составленные с временным шагом более чем в 60-80 лет (Сальников, 2005). Монография замечательного российского ботаника Ивана Александровича Перфильева «Флора Северного края» (1934-1936), составленная по его многолетним наблюдениям с начала XX века, представляет полный список видов сосудистых растений с указанием мест их произрастания по уездам Архангельской губернии и примыкающим областям. Начиная с 90-х гг. XX-го века в Устьянском районе Архангельской области проводятся исследования сотрудниками кафедры биогеографии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, включая подробное изучение видового состава растительных сообществ центральной и южной части района (Флора и фауна ..., 2003; Леонова, Горяинова, 2019). В итоге многолетних наблюдений собран достаточно полный список видов, сравнимый по объему с локальными флорами Вельска, Котласа, Верхней Тоймы (Шмидт, 2005).

Целью работы является выявление динамики флористического состава растительных сообществ средней тайги на примере Устьянского района в условиях изменяющейся среды на основе сравнения разновременных флористических списков первой половины XX века и начала XXI века и их интерпретация. В задачи исследования входило составление по библиографическим данным таксономического списка высших сосудистых растений, произрастающих на исследуемой территории в начале XX века, и приведение его к современной таксономической номенклатуре; сравнительный анализ флористических списков начала XX века и современного периода по таксономическому составу; выявление эколого-ценотических и географических характеристик тех видов растений, которые составляют различия обоих списков; интерпретация полученных результатов на основе сопоставления с изменениями природной среды в изучаемый период. Динамика видов растений, находящихся у границы ареалов по данным за тот же временной отрезок, была рассмотрена нами ранее (Еремеева, Леонова, 2022).

Материалы и методы

Для изучения видов растений, собранных и описанных в начале XX века, используется монография И.А. Перфильева «Флора Северного края» в 3 томах, вышедшая в 1934-1936 гг. Для анализа современной флоры взята книга «Флора и фауна средней тайги Архангельской области (междуречье Устьи и Кокшеньги)», изданная сотрудниками кафедры биогеографии МГУ в 2003 году с дополнениями последних лет (Леонова и др., 2021). Для проверки и подтверждения анализируемых данных использована работа В.М. Шмидта «Флора Архангельской области» (2005). Территория исследования – южная часть Архангельской области, в границах центральной и южной частей Устьянского района Архангельской области (рис. 1), в прошлом относившихся к Вологодской области, до 1929 г. носившая название Вельский уезд (рис. 2). Для корректного сравнения при составлении

флористического списка на начало ХХ века из монографии И.А. Перфильева выбирались те виды растений, которые были отмечены автором именно для этой территории.

Территория исследования располагается в междуречье притоков р. Ваги – рр. Устьи и Кокшеньги, в пределах Устьянского плато, сложенного мергелями, песками, доломитами, известняками пермского возраста, перекрытыми относительно маломощными четвертичными отложениями: ледниковыми валунными суглинками, озерно-ледниковыми суглинками и супесями, флювиогляциальными песками и супесями московского возраста. С участками неглубокого залегания карбонатных пород связано распространение дерново-карбонатных почв, в то время как зональными являются подзолистые почвы (Хорошев, 2005). Климат территории умеренно-континентальный, с продолжительной холодной зимой и умеренно теплым летом. Приведенные в таблице 1 климатические показатели по станции Тотьма (Вологодская область) на первую треть ХХ века и современный период иллюстрируют заметное повышение температур и количества осадков за этот период.

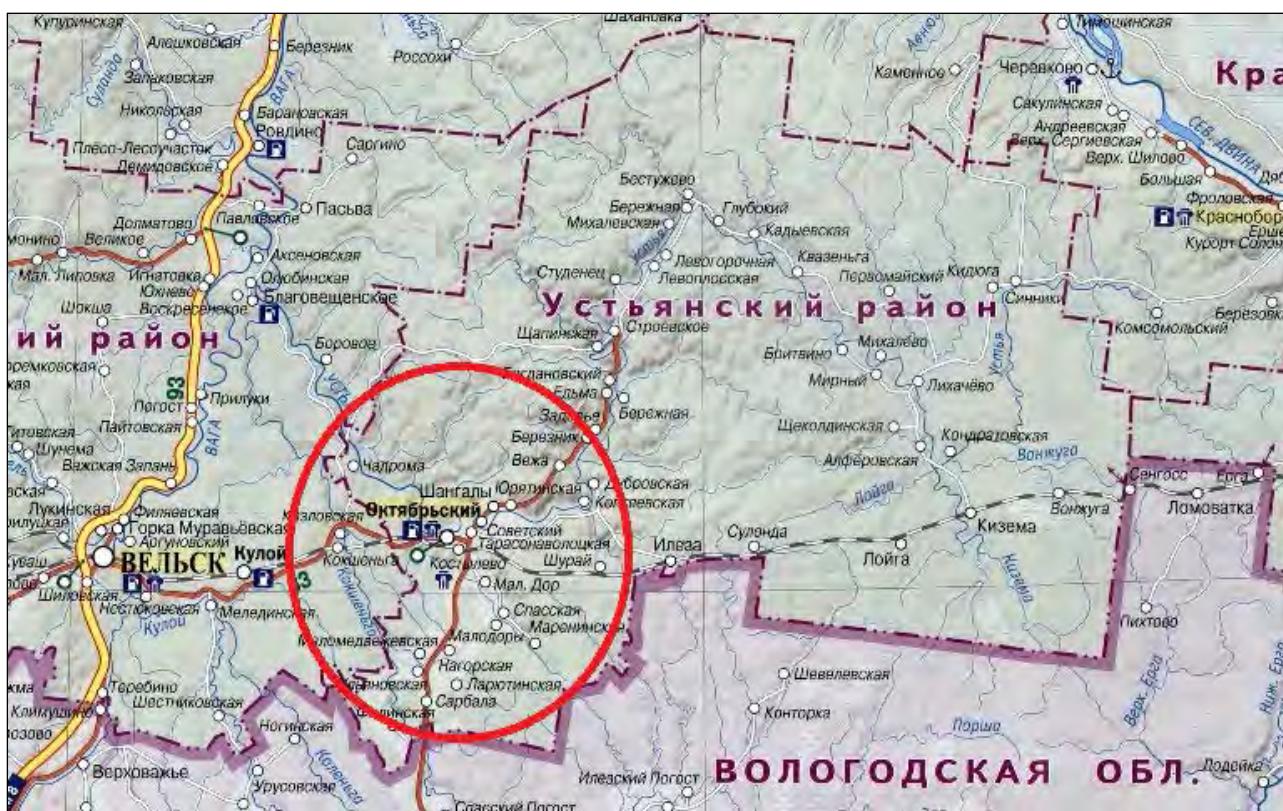


Рис. 1. Район изучения на современной карте Архангельской области (красный круг).

Все таблицы и графики построены авторами на основании открытых и свободно распространяемых метеорологических данных России и бывшего СССР (Булыгина и др., 2021). Более подробно и наглядно динамику и тренды изменения среднегодовых температур, увлажнения и суммы активных температур с 1925 по 2020 гг. в пределах территории исследования можно проследить по построенным графикам (рис. 3).

В условиях слабого дренажа годовая сумма осадков не обеспечена энергетическими ресурсами для испарения, что обуславливает частичное задержание влаги и заболачивание на водоразделах. В гидрологическом отношении территория представляет собой хорошо дренированную равнину с обеспеченным почвенно-грунтовым стоком и густо-развитой сетью рек и малых речек. Специфической чертой большинства рек является вложенность их

долин в бывшие русла потоков талых ледниковых вод и озерно-ледниковых депрессий рельефа, сложенных флювиогляциальными отложениями. В связи с этим размеры и врезанность долин даже малых рек (р. Заячья) весьма велики (фото 1). На обширных водораздельных пространствах формируются крупные олиготрофные (фото 2) болота (Горбунова и др., 2014).

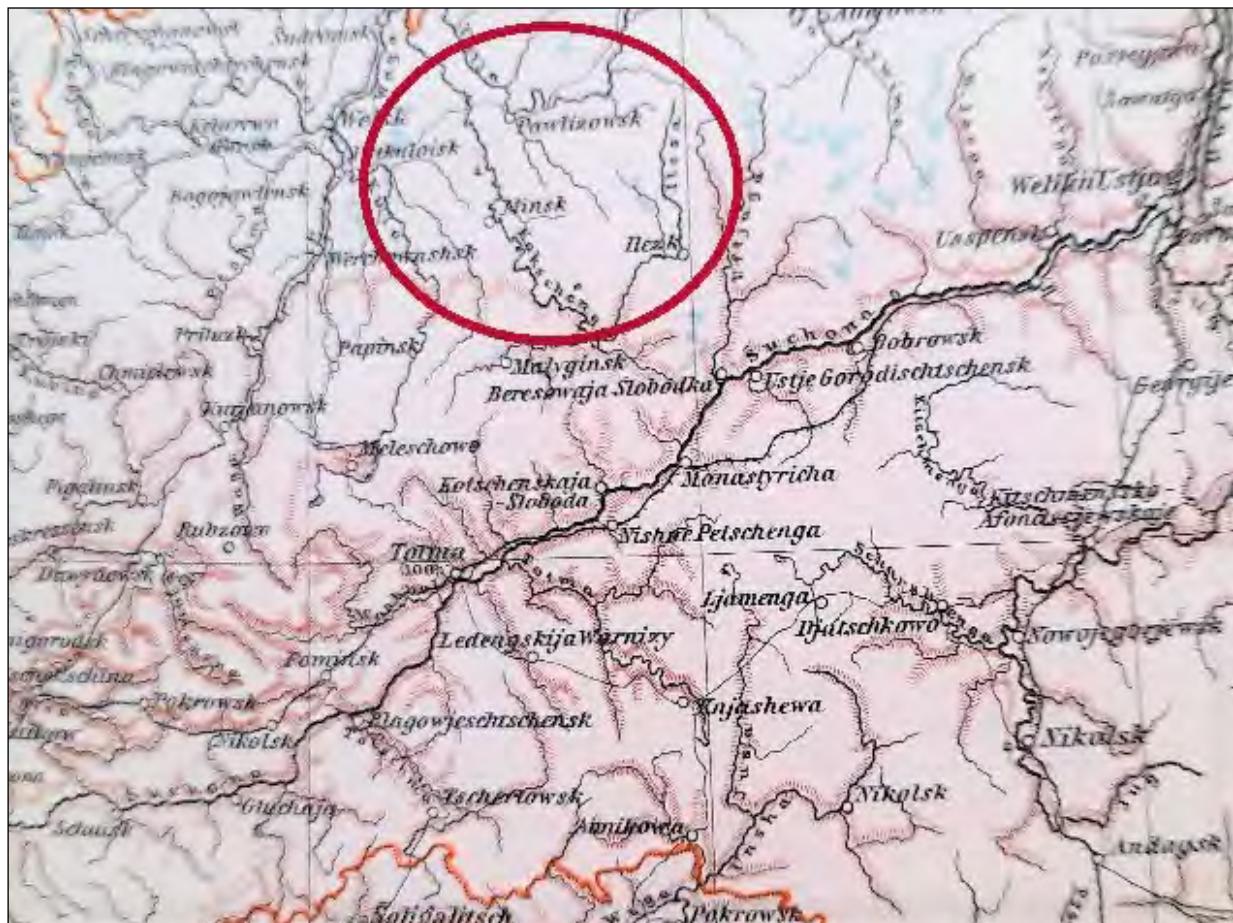


Рис. 2. Район исследования на карте Вологодской губернии (Вельский уезд) в границах начала века (Stieler's Hand-Atlas, 1905).

Таблица 1. Динамика климатических показателей на территории исследования в первой половине XX и в начале XXI вв. по данным метеостанции Тотьма (Булыгина и др., 2021).

Климатические показатели	1925-1935 гг.	2010-2020 гг.
Среднегодовая температура, °C	+2.4	+4.0
Температура января, °C	-11.5	-11.1
Температура июля, °C	+17.9	+18.2
Сумма активных температур, °C, средняя за 10 лет	1770	1960
Среднегодовое количество осадков, мм	570	650

В растительном покрове преобладают различные типы таежных лесов, образованных елью финской (*Picea x fennica* (Regel) Kom) и сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.;

(фото 3), вторичные леса образованы преимущественно березой повислой (*Betula pendula* Roth) и пушистой (*B. pubescens* Ehrh.), реже осиной (*Populus tremula* L.) и ольхой серой (*Alnus incana* (L.) Moench), изредка встречаются болота, большей частью облесенные, а также луговые сообщества в поймах рек. Благодаря широкому распространению плодородных дерново-карбонатных почв южная часть Архангельской области является регионом давнего сельскохозяйственного освоения. На бывших сельскохозяйственных угодьях на водосборах происходит формирование суходольных лугов с последующей их трансформацией в лесные сообщества (фото 4). В центральной и северной части Устьянского района большое влияние на природные комплексы оказывают рубки леса.

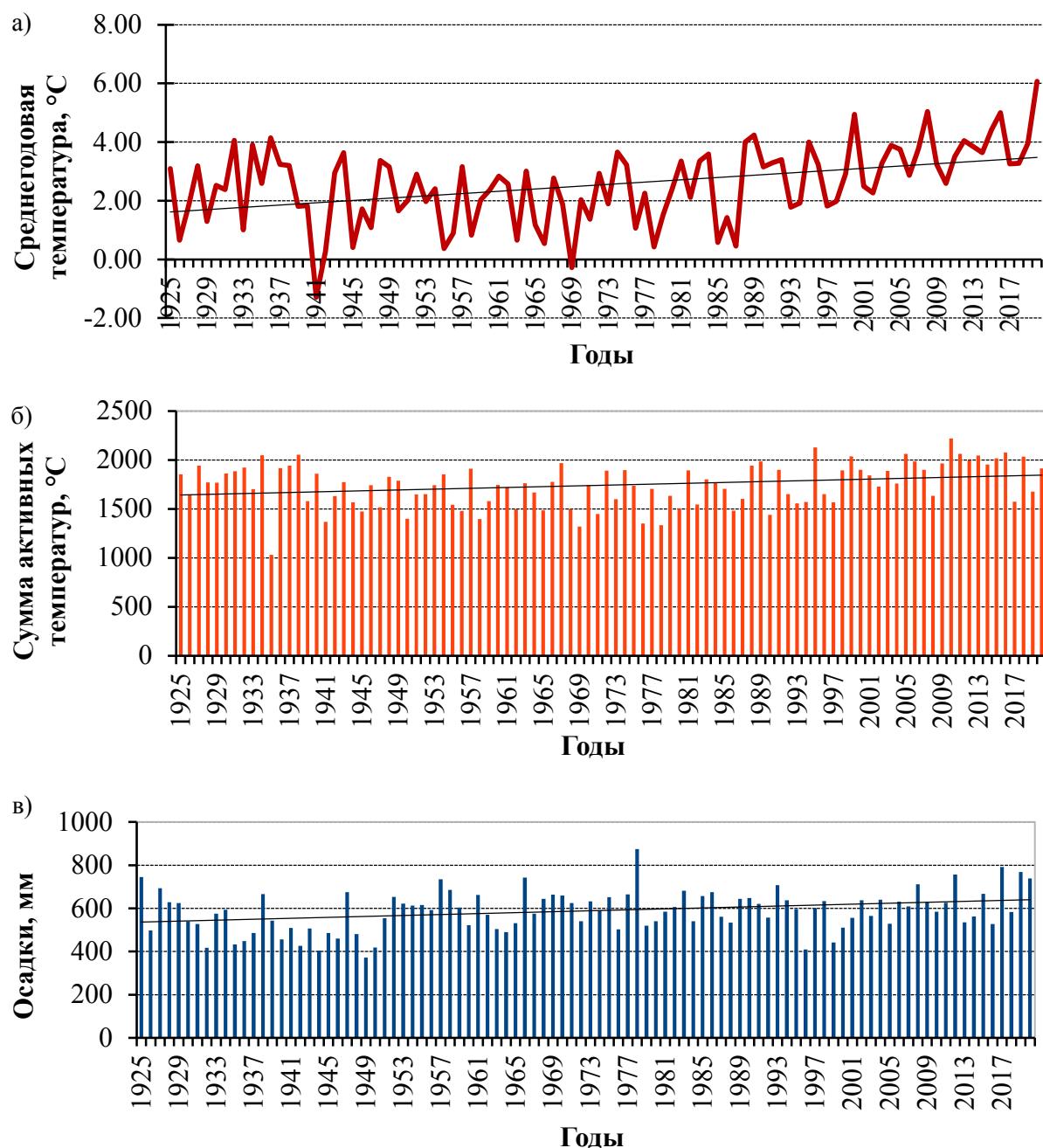


Рис. 3. Климатические тренды за исследуемый период по данным метеостанции Тотьма: а – среднегодовые температуры ($^{\circ}\text{C}$), б – сумма активных температур ($> 10^{\circ}\text{C}$), в – среднегодовое количество осадков (мм).



Фото 1. Ландшафт моренно-эрзационной равнины, Устьянский район (фото Н.Б. Леоновой).



Фото 2. Верховое кустарничково-сфагновое с сосной болото на водоразделе (фото Н.Б. Леоновой).



Фото 3. Сосняк кустарничково-лишайниковый в долине р. Кокшеньги (фото Н.Б. Леоновой).



Фото 4. Зарастиающие залежи в долине р. Заячей (фото Н.Б. Леоновой).

При этом лесистость района в целом постепенно нарастает с начала XX века: в 1910-1920 гг. она составляла около 85,5% (бывший Вельский уезд Вологодской области), в 1990-х – 88%, а в настоящее время уже 92,6%. Прирост лесистости во многом обусловлен зарастанием брошенных сельскохозяйственных участков. Тем не менее, стоит отметить, что зарастание идёт в основном за счёт лиственных пород, что вносит изменения в естественную структуру лесных сообществ. Наиболее сильной трансформации подвергается часть района вблизи железной дороги Архангельск – Конюша – Котлас. Таким образом, биотический покров территории в значительной степени изменен в ходе антропогенного влияния (Гусев и др., 1994; Флора ..., 2003).

Для сравнения флористических списков использованы общепринятые характеристики: таксономический состав, принадлежность к группам жизненных форм, эколого-ценотическим группам и географическим элементам (Юрцев, 1968). Особый интерес для анализа тенденций изменения флористического состава сообществ представляют такие показатели, как доля видов растений условно коренных таежных лесов (виды бореальной эколого-ценотической группы), изменения в составе видов, находящихся на границе ареалов, число видов нарушенных местообитаний и т.д. Меры сходства проанализированы с помощью коэффициентов Жаккара, Съеренсена (Шмидт, 1984); расчета тау-коэффициента и коэффициента Спирмена (Уланова, 2018).

Современная номенклатура видов сосудистых растений приведена по работе С.К. Черепанова (1995) и электронным ресурсам Плантариум (2022) и The Plantlist (2022). Характеристики эколого-ценотических групп, жизненных форм растений и экологических шкал по Ландольту приведены в соответствии с базой данных Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН (2022), характеристики долготных и широтных групп ареалов растений приведены по данным ряда публикаций (Mejzel, 1965; Носова и др., 2004; База данных ..., 2022).

Результаты и их обсуждение

Флористический список на начало XX века насчитывает 624 вида сосудистых растений из 80 семейств, современный – 547 видов из 79 семейств. Сравнение обоих списков показывает, что в современном списке не отмечено 140 видов из 95 родов и 41 семейства, присутствовавших в списке И.А. Перфильева, хотя в то же время в нем появляется 69 видов из 57 родов и 31 семейства, не отмеченных в списке первой половины XX века.

Сходство двух флористических списков оценивается на уровне 70% по Жаккару и 83% по Съеренсену (Шмидт, 1984). Коэффициенты корреляции Спирмена и Кендалла, рассчитанные для двух разновременных списков, показывают, что между ними отмечается слабая отрицательная корреляция (рис. 4). Полученные показатели, вероятно, связаны со снижением числа видов с начала XX века при сохранении относительной общности флористического состава.

Состав первых по численности десяти семейств обоих списков близок: они начинаются с трех ведущих семейств Бореальной флористической области – Asteraceae, Poaceae и Cyperaceae, однако далее несколько различаются по соотношению (табл. 2). Уменьшается доля представителей Caryophyllaceae, Ranunculaceae, Orchidaceae, Lamiaceae; возрастает доля Rosaceae, Fabaceae, Brassicaceae, Ericaceae, Plantaginaceae (табл. 2, рис. 5). Вероятно, эти изменения характеризуют увеличение доли адвентивных представителей бобовых (*Anthyllis macrocephala* Wender., *Lupinus polyphyllus* Lindl., *Medicago x varia* Martyn), крестоцветных (*Lepidium densiflorum* Schrad., *Lepidium ruderale* L.) в нарушенных местообитаниях. В то же время сокращение числа видов лютиковых (*Anemone ranunculoides* L., *Anemone sylvestris* L., *Pulsatilla patens* (L.) Mill. и др.) и орхидных (*Calypso*

bulbosa (L.) Oakes) свидетельствует, вероятно, об исчезновении местообитаний этих видов в ходе антропогенных нарушений лесных сообществ (Красная книга ..., 2008, 2020). Также необходимо отметить, что хотя Cyperaceae сохраняют третье место в списке, число их видов уменьшилось с 53 до 30.

Spearman Rank Order Correlations (Лист1 in Index)				
MD pairwise deleted				
Marked correlations are significant at p < .05000				
Pair of Variables	Valid N	Spearman R	t(N-2)	p-value
Перфильев & Устьяны	687	-0.160749	-4.26264	0.000023

Kendall Tau Correlations (Лист1 in Index)				
MD pairwise deleted				
Marked correlations are significant at p < .05000				
Pair of Variables	Valid N	Kendall Tau	Z	p-value
Перфильев & Устьяны	687	-0.160749	-6.30395	0.000000

Рис. 4. Расчет коэффициентов корреляции по Спирмену (1) и Кендаллу (2) для двух флористических списков был выполнен в программе STATISTICA, Version 10.

Таблица 2. Представленность семейств и их место в списках флоры района в первой половине XX и в начале XXI вв.

Семейство	Флора по И.А. Перфильеву на 1930 г.		Флора Устьянского района на 2020 г.	
	Число видов	Место	Число видов	Место
Asteraceae	60	1	66	1
Poaceae	58	2	46	2
Cyperaceae	53	3	30	3
Caryophyllaceae	29	4	21	6
Rosaceae	28	5	27	4
Fabaceae	23	6	26	5
Ranunculaceae	23	7	18	8
Brassicaceae	22	8	20	7
Orchidaceae	20	9	16	12
Lamiaceae	19	10	16	13
Apiaceae	18	11	17	11
Ericaceae	18	12	18	9
Plantaginaceae	16	13	18	10
Salicaceae	16	14	14	14

Также не исключено, что часть раннецветущих растений (*Anemone* spp., *Pulsatilla patens*) не отмечена в современных исследованиях в результате недостаточности данных сезонных весенних наблюдений. Значения родового коэффициента, т.е. отношение числа видов к числу родов (Толмачев, 1974) составляют для современного флористического списка 1.90, для списка И.А. Перфильева – 2.01. Поскольку величина родового коэффициента, согласно А.И. Толмачеву (1974), свидетельствует о соотношении автохтонных и аллохтонных тенденций во флорогенезе, то некоторое снижение этого коэффициента свидетельствует об усилении миграционных процессов на современном этапе.

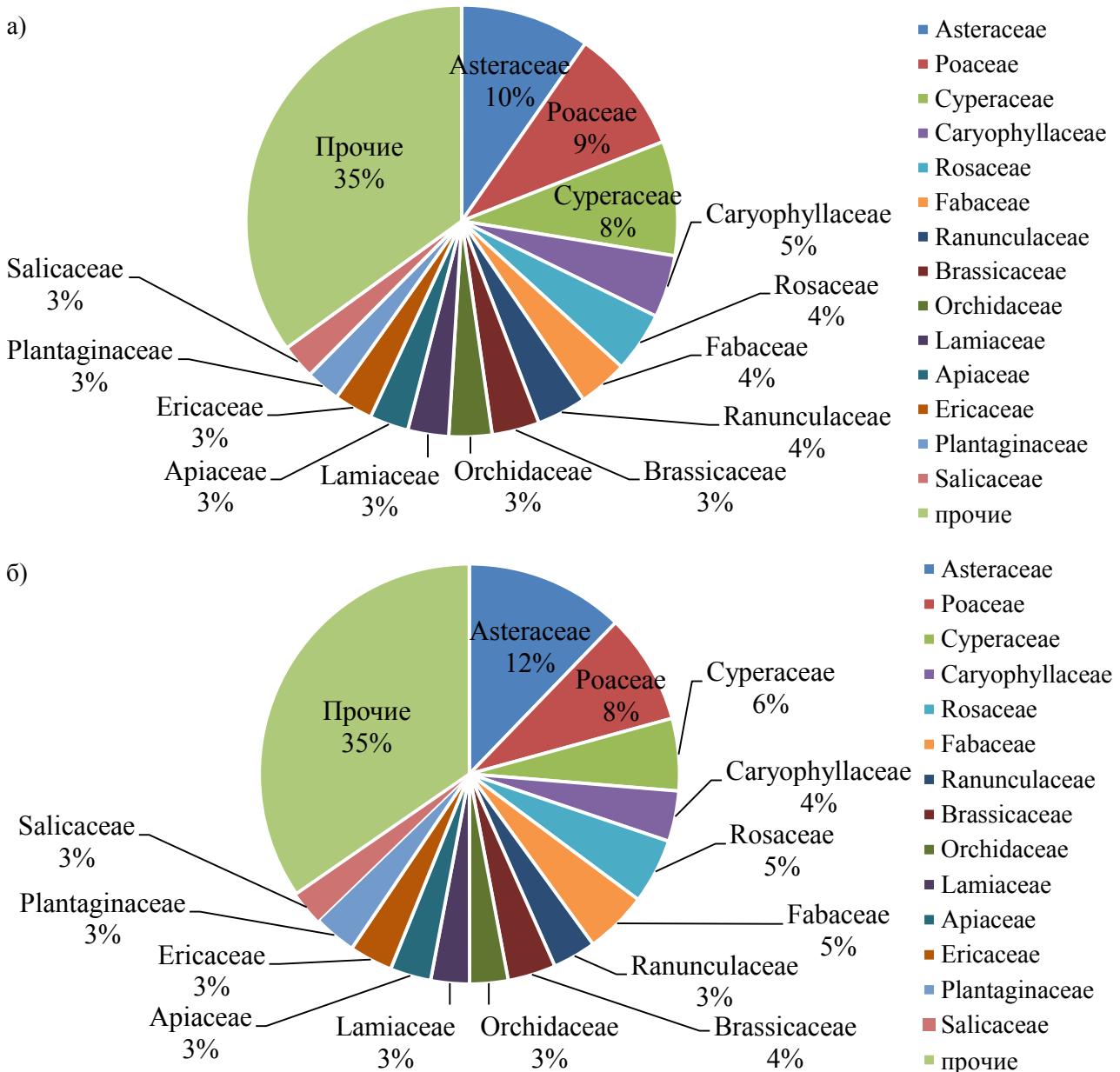


Рис. 5. Таксономические спектры флористического состава сообществ территории в первой половине XX века (а) и в начале XXI века (б).

Дальнейший анализ флористических списков базируется на характеристиках тех видов сосудистых растений, которые изменили статус «присутствия/отсутствия» в двух разновременных списках по таким характеристикам, как состав жизненных форм,

географических элементов и эколого-ценотических групп.

В составе жизненных форм растительных сообществ изучаемой территории преобладают многолетние травы (гемикриптофиты), которые составляют две трети флористических списков за оба периода (табл. 3). В составе видов, вновь отмеченных в 2000-х годах и не отмеченные в прошлом веке, эти доли сохраняются главным образом в отношении многолетних трав. Заметные изменения касаются водных растений (гелофитов), которых больше в списке И.А. Перфильева, как и однолетников (терофитов; рис. 6). К примеру, не отмечены такие водные растения, как *Utricularia vulgaris* L. и *Sparganium natans* L., отсутствуют однолетники *Myosotis micrantha* Pall. ex Lehm., *Draba nemorosa* L. и др.

Таблица 3. Состав жизненных форм растений в разновременных флористических списках.

Жизненные формы	В списке 1920-1930 гг.		В списке 2000-2020 гг.	
	количество видов	доля, %	количество видов	доля, %
Фанерофиты	45	7	42	8
Хамефиты	21	3	21	4
Гемикриптофиты	419	67	371	68
Криптофиты	14	2	13	2
Терофиты	97	16	80	15
Гелофиты	28	4	20	4
Всего	624		547	

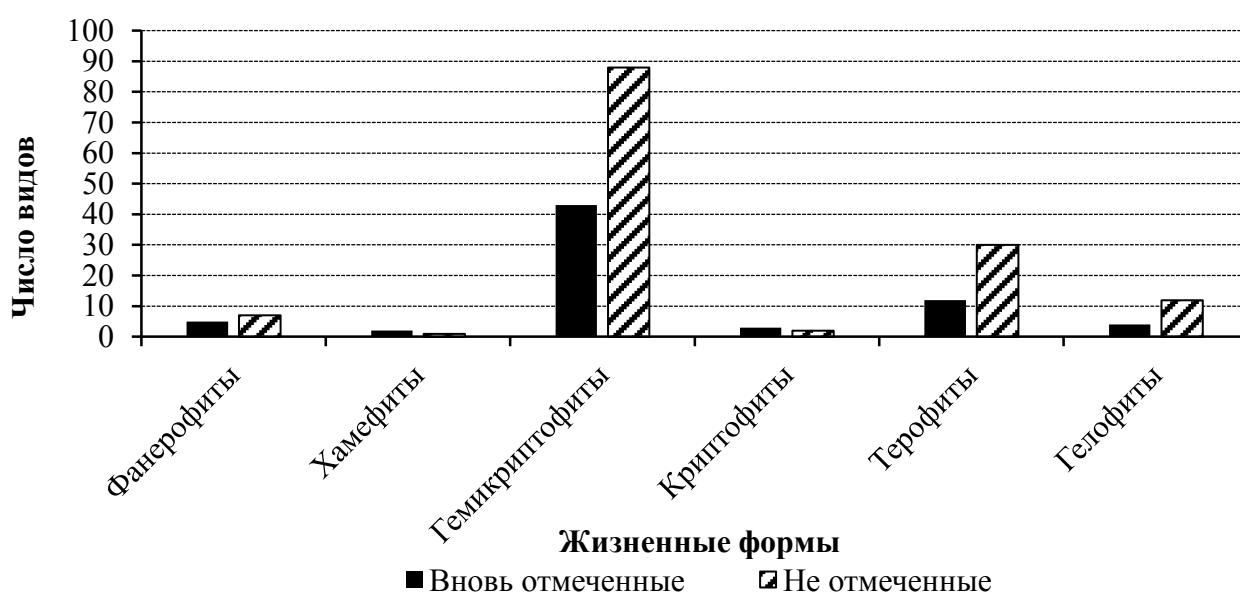


Рис. 6. Соотношение представителей основных жизненных форм по Раункиеру в составе вновь отмеченных (а) и более не встреченных (б) видов сосудистых растений.

Состав географических элементов. Во флоре района с высоким преимуществом преобладают виды очень широких ареалов (табл. 4) – евразиатские (35%) и евразиатско-североамериканские (35%), что в целом характерно для флоры бореальных лесов

(Толмачев, 1974). Виды европейские, имеющие своим восточным пределом Уральские горы, составляют всего 12%, а европейско-западносибирские – 15% (Горбунова и др., 2014).

Таблица 4. Состав широтных и долготных ареалов в современной флоре Устьянского района.

Широтные типы ареалов	Число видов	Долготные типы ареалов	Число видов
Гипоарктическо- boreальный	62	Европейский	70
Таежный	85	Евразиатский	81
Широколесной	195	Евросибирский	15
Широколиственнолесной	10	Евразиатский	176
Широколиственнолесной- лесостепной	11	Восточноазиатский	2
Плюриональный	183	Евроазиатско- североамериканский	180
		Североамериканский	10
		Космополитный	2

По широтному распределению во флоре большое число гипоарктическо- boreальных и таежных видов (около 30%). Достаточно большое участие (табл. 4) принимают виды широколесные – хвойно-широколиственных лесов и широколиственных лесов (в сумме около 35% флоры). Интересно отметить, что процент участия видов растений с ареалами, близкими к зоне широколиственных лесов, достаточно высок для подзоны средней и южной тайги и составляет более 10% (Горбунова и др., 2014). Одним из таких видов является колокольчик широколистный – *Campanula latifolia* L. (фото 5). Доля плюриональных видов составляет более 30% (табл. 3).



Фото 5. Колокольчик широколистный (*Campanula latifolia* L.) – вид, сохранившийся в редких пойменных местообитаниях со времен И.А. Перфильева и занесенный в Красную книгу Архангельской области (2020; фото И. Добромуслова).

Анализ изменений в составе разновременных списков показал, что состав долготных групп ареалов в целом близок в обоих случаях, за исключением увеличения числа североамериканских и европейских видов в современном списке. В распределении широтных групп ареалов можно отметить уменьшение числа гипоарктическо- boreальных видов и увеличение числа плюриональных в современном флористическом списке, что также свидетельствует о повышении доли адвентивных видов североамериканского и южного европейского распространения (рис. 7).

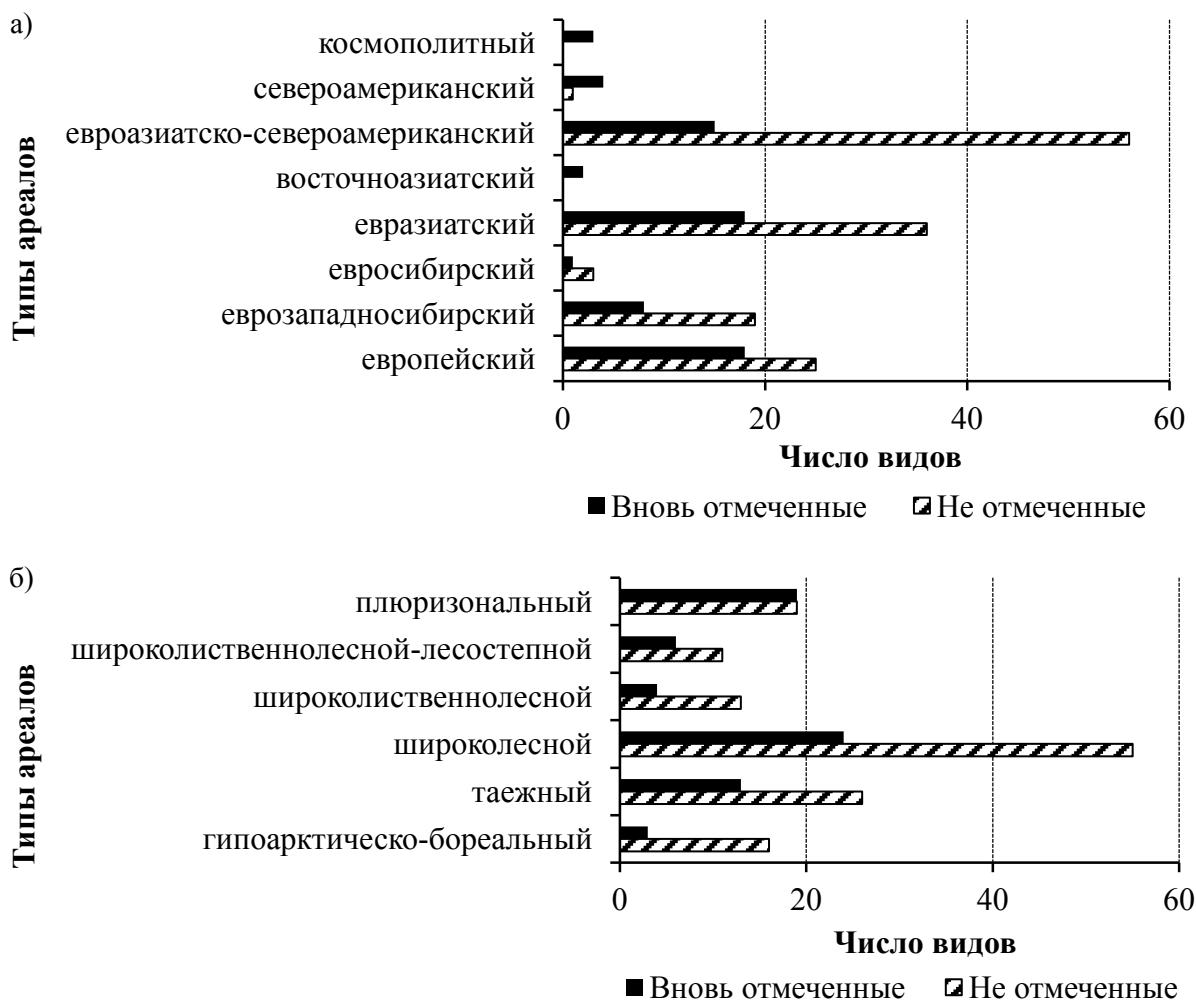


Рис. 7. Изменение видов с разными типами ареалов: а – долготные элементы, б – широтные элементы.

Эколого-ценотические группы видов. Анализ изменений эколого-ценотической структуры флористических списков (табл. 5, рис. 8) выявил серьезные сдвиги в отношении некоторых групп видов, что указывает на изменение условий существования растительности и перестройки структуры фитоценозов. Резко, на треть, сократилось число видов водно-болотных местообитаний (что было уже отмечено, когда говорилось о сокращении представителей семейства осоковых). Также значительно сократилось число неморальных видов, которых стало на 11 меньше, а олиготрофных видов – на 7. При этом в составе видов, отмеченных в 2000-х гг., почти половину (46%) составляют виды луговой эколого-ценотической группы, а виды нарушенных антропогенных местообитаний составляют 11% (фото 6, 7). Таким образом, отмечается явный рост доли видов, связанных с антропогенной

деятельностью и сведением условно-коренных лесов. Одновременно уменьшилось число видов болот разных типов, хвойных и неморально-еловых лесов. Конкретные изменения структуры землепользования по имеющимся данным выявить не удалось, но сокращение числа водоно-болотных видов и рост количества видов нарушенных местообитаний может свидетельствовать о деградации околоводных местообитаний и повышенной антропогенной нагрузке на экосистемы в целом.

Таблица 5. Состав эколого-ценотических групп видов растений в разновременных флористических списках.

Эколого-ценотические группы	В списке 1920-1930 гг.		В списке 2000-2020 гг.	
	количество видов	доля, %	количество видов	доля, %
Бореальная (Br)	54	9	49	9
Неморальная (Nm)	53	8	42	8
Боровая (Pn)	33	5	31	6
Луговая (Md)	212	34	200	37
Нитрофильная (Nt)	38	6	31	6
Олиготрофная (Olg)	33	5	26	5
Водно-болотная (Wt)	152	24	119	22
Нарушенных местообитаний (Ant + Advent)	16	2	18	3
Прочие	33	5	31	6



Рис. 8. Изменение состава эколого-ценотических групп в двух флористических списках (обозначения ЭЦГ приведены в соответствии с таблицей 4).

Экологические амплитуды видов растений. Для оценки экологических предпочтений видов растений в составе растительных сообществ за разные периоды времени была проведена оценка их распределения по ступеням шкал термического режима,

континентальности, увлажнения, богатства почв гумусом и освещённости по Ландольту (Landolt, 1977). Экологические шкалы Ландольта были выбраны, поскольку они охватывают практически весь исследуемый список видов, имеют точечную балльную характеристику и легко сопоставимы по всем факторам. Каждая шкала имеет пять градаций от 1 до 5 по нарастанию действия того или иного фактора.



Фото 6. *Lotus corniculatus* L. на обочине поля – вид, отсутствующий в списке И.А. Перфильева (фото Н.Б. Леоновой).



Фото 7. Заросли борщевика Сосновского по берегу р. Устья у пос. Шангалы (фото Н.Б. Леоновой).

В целом распределение числа видов в обоих разновременных флористических списках по экологическим шкалам Ландольта довольно сходно (табл. 6). Однако отмечается повышение доли растений, предпочитающих тёплый климат, повышенное участие ксерофитов и мезоксерофитов при снижении доли гигрофитов в современном составе (рис. 9), что согласуется и с общими тенденциями к потеплению климата. Показатели требовательности к освещению и содержанию гумуса в почве в обоих списках были одинаковы и для упрощения восприятия не включены в таблицу. Максимальная доля видов приходится на показатели в 3-4 балла, что соответствует средним показателям богатства почв и средней освещённости.

Таблица 6. Распределение числа видов растений в двух флористических списках по их требовательности к теплу, континентальности и увлажнению по экологическим шкалам Ландольта.

Баллы	Температура*		Континентальность**		Увлажнение***	
	Число видов в списке 1920-1930 гг.	Число видов в списке 2000-2020 гг.	Число видов в списке 1920-1930 гг.	Число видов в списке 2000-2020 гг.	Число видов в списке 1920-1930 гг.	Число видов в списке 2000-2020 гг.
1	0	0	0	0	18	18
2	56	50	61	53	119	105
3	285	247	372	333	216	201
4	176	161	98	84	154	121
5	20	15	1	1	113	95
0	1	1	3	3	2	2

Примечания к таблице 5. *Температура: 1 – наиболее холодаустойчивые (арктические и аркто-альпийские) растения, 2 – холодаустойчивые (boreальные), 3 – относительно холодаустойчивые виды с широким экологическим диапазоном, 4 – относительно теплолюбивые, 5 – исключительно теплолюбивые. **Континентальность: 1 – виды, которым необходим морской климат (не терпят перепадов температур), 2 – виды умеренно-морского климата (не терпят значительных перепадов температур, поздних заморозков), 3 – виды умеренно-континентального климата (относительно устойчивы к перепадам температур), 4 – виды континентального климата (устойчивы к экстремальным перепадам температур), 5 – виды резко континентального климата (встречаются только в местах с экстремальными перепадами температур). ***Увлажнение: 1 – ксерофиты, 2 – мезо-ксерофиты, 3 – мезофиты, 4 – мезо-гигрофиты, 5 – гидрофиты.

Выводы

Анализ разновременных флористических списков, составленных для растительных сообществ среднетаежной территории на юге Архангельской области, дал возможность выявить динамику флористического состава с 1930-х по 2000 гг. Общее число видов сосудистых растений уменьшилось на 77 таксонов, причем по сравнению с 1930-ми список сократился на 140 видов растений из 95 родов и 41 семейства и увеличился на 69 видов из 57 родов и 31 семейства, не отмечавшихся здесь ранее. При сохранении общего сходства таксономических спектров за оба периода отмечается увеличение таксонов из семейства крестоцветных, бобовых и сокращение представителей осоковых, лютиковых и орхидных.

Анализ эколого-ценотического состава видов сосудистых растений за два периода

показал рост видов нарушенных местообитаний и сокращение видов растений, близких к коренным сообществам: неморальных, бореальных, водно-болотных. Данные изменения, очевидно, свидетельствуют о деградации лесных земель при сохранении общего уровня лесистости территории, околоводных и болотных местообитаний и о повышенной антропогенной нагрузке на экосистемы в целом, появлении большого числа вторичных сообществ на вырубках, заброшенных сельскохозяйственных угодьях, вблизи селитебных территорий.

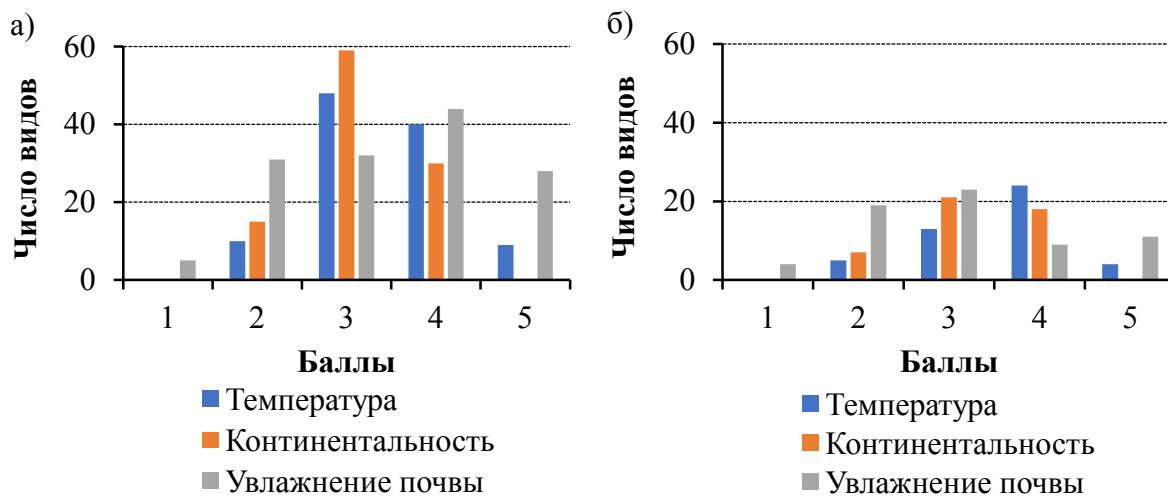


Рис. 9. Распределение видов растений, изменивших статус присутствия/отсутствия по потребностям в теплообеспеченности, континентальности климата и увлажнению почв по шкалам Ландольта: а – для видов, отсутствующих в современной флоре, б – для видов, отмеченных в современной флоре впервые.

Климатические изменения, в частности, теплый тренд повышения среднегодовых температур и увеличения сумм активных температур за изучаемый период, также сказываются на изменении флористического состава сообществ территории, что выразилось в уменьшении числа более холодостойких видов с гипоарктическо-бореальным ареалом (*Pinguicula alpina* L., *Saxifraga hirculus* L. и др.) и появлении в списке некоторых теплолюбивых широколиственно-лесостепных и плоризональных видов (*Artemisia dracunculus* L., *Gagea granulosa* Turcz., *Fragaria viridis* Weston и др.). Данный вывод подтверждается и анализом изменений экологических предпочтений видов. Согласно распределению числа видов по ступеням экологических шкал Ландольта, увеличилось число видов с повышенной потребностью в теплообеспеченности, а также мезоксерофитов.

Необходимо учесть, что помимо климатических изменений, повышение доли более теплолюбивых и менее влаголюбивых видов растений согласуется с общей тенденцией к увеличению доли чужеродных видов, среди которых большинство является пришельцами из более южных районов (*Galega orientalis* Lam., *Lupinus polyphyllus* Lindl., *Heracleum sosnowskyi* Manden. и др.). Однако исследование флоры чужеродных видов и их роли в сообществах средней тайги представляется отдельной темой исследования.

Благодарности. Авторы выражают признательность Н.А. Романенко за предварительное составление списков флоры И.А. Перфильева.

Финансирование. Работа выполнена в рамках темы НИР 121051100137-4 (Г3) «Пространственно-временная организация экосистем в условиях изменений окружающей среды».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1. База данных «Флора сосудистых растений Центральной России». 2022. Институт математических проблем биологии [Электронный ресурс <https://www.impb.ru/eco/> (дата обращения 15.08.2021)].
2. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. 2021. Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР (TTTR) [Электронный ресурс <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#описание-массива-данныхaisori-m.meteo.ru/waisori/index.xhtml?idata=a=5> (дата обращения 10.11.2021)].
3. Горбунова И.А., Емельянова Л.Г., Леонова Н.Б. 2014. Учебная почвенно-биогеографическая практика в средней тайге. М.: АПР. 156 с.
4. Гусев И.И., Неволин О.А., Третьяков С.В. 1994. Леса и лесистость Архангельской области // Лесной журнал. № 3. С. 10-17.
5. Еремеева Е.А., Леонова Н.Б. 2022. Динамика видового состава сосудистых растений, находящихся вблизи северных границ ареалов на юге Архангельской области // Проблемы региональной экологии. № 1. С. 60-66.
6. Карта «Устьянский район Архангельской области». 2022 [Электронный ресурс <https://world-karta.ru/oblast/arhangel20.html> (дата обращения: 21.05.2022)].
7. Красная книга Архангельской области. 2008. Архангельск: Комитет по экологии
1. Database “Flora of vascular plants of Central Russia” [Baza dannykh “Flora sosudistykhs rasteniy Tsentral’noy Rossii”] Institute of Mathematical Problems of Biology [Institut matematicheskikh problem biologii]. 2022, Available at <https://www.impb.ru/eco/> (Date of Access 15/08/2021).
2. Bulygina ON, Razuvaev VN, Aleksandrova TM. Description of the data set for daily air temperature and precipitation at meteorological stations in Russia and the former USSR (TTTR) [Opisaniye massiva dannykh sutochnoy temperatury vozdukh i kolichestva osadkov na meteorologicheskikh stantsiyakh Rossii i byvshego SSSR (TTTR)]. 2021, Available at <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#описание-массива-данныхaisori-m.meteo.ru/waisori/index.xhtml?idata=5> (Date of Access 10/11/2021)].
3. Gorbunova IA, Emelyanova LG, Leonova NB. Educational soil-biogeographic practice in the middle taiga [Uchebnaya pochvenno-biogeograficheskaya praktika v sredney tayge]. Moscow: APR, 2014:156.
4. Gusev II, Nevolin OA, Tretyakov SV. Forests and forest cover of the Arkhangelsk Region [Lesa i lesistost' Arkhangel'skoy oblasti] Forest Journal [Lesnoy zhurnal]. 1994;3:10-17.
5. Eremeeva EA, Leonova NB. Dynamics of the species composition of vascular plants near the northern borders of their habitats in the south of the Arkhangelsk Region [Dinamika vidovogo sostava sosudistykhs rasteniy, nakhodyashchikhsya vblizi severnykh granits arealov na yuge Arkhangel'skoy oblasti] Problems of Regional Ecology [Problemy regional'noy ekologii]. 2022;1:60-66.
6. Map “Ustyansky district of the Arkhangelsk region” [Karta “Ust'yanskiy rayon Arkhangel'skoy oblasti”]. 2022, Available at <https://world-karta.ru/oblast/arhangel20.html> (Date of Access 21/05/2022).
7. Red Data Book of the Arkhangelsk region [Krasnaya kniga Arkhangel'skoy oblasti]. Arkhangelsk: Komitet po ekologii Arkhangel'skoy oblasti. 2008:351.
8. Red Data Book of the Arkhangelsk region

- Архангельской области. 351 с.
8. Красная книга Архангельской области. 2020. Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова. 490 с.
 9. Леонова Н.Б., Горяинова И.Н. 2019. Постоянство и эколого-ценотическая амплитуда видов растений среднетаежного района в междуречье Устьи и Кокшеньги // Флора и растительность в меняющемся мире: проблемы изучения, сохранения и рационального использования. Минск. С. 92-97.
 10. Морозова О.В. 2008. Таксономическое богатство флоры Восточной Европы: факторы пространственной дифференциации. М.: Наука. 328 с.
 11. Носова Л.М., Леонова Н.Б., Зимин М.В. 2004. Анализ ареалов основных эколого-ценотических групп видов растений лесного пояса // Восточно-европейские леса. История в голоцене и современность. Кн. 1. М.: Наука. С. 270-282.
 12. Перфильев И.А. 1934. Флора Северного края. Ч. 1. Высшие споровые, голосемянные и однодольные. Архангельск: Севкрайгиз. 160 с.
 13. Перфильев И.А. 1936. Флора северного края. Ч. 2, 3. Двудольные. Архангельск: Севкрайгиз. 407 с.
 14. Плантирум. 2022. Растения и лишайники России и сопредельных стран: открытый онлайн атлас и определитель растений [Электронный ресурс <https://www.planarium.ru> (дата обращения 10.12.2021)].
 15. Сальников А.Л., Пилипенко В.Н., Нигметова А.М. 2005. Динамика флоры города Астрахани и его окрестностей за последние 100 лет [Krasnaya kniga Arkhangel'skoy oblasti]. Arkhangelsk: Severnyy (Arkticheskiy) federal'nyy universitet im. M.V. Lomonosova, 2020:490.
 9. Leonova NB, Goryainova IN. Persistence and ecological-coenotic amplitude of plant species in the middle taiga region in the interfluve of the Ustya and Kokshenga [Postoyanstvo i ekologo-tsenoticheskaya amplituda vidov rasteniy srednetayezhnogo rayona v mezhdurech'i Ust'i i Kokshen'gi] Flora and vegetation in a changing world: problems of study, conservation and rational use [Flora i rastitel'nost' v menyayushchemsyi mire: problemy izucheniya, sokhraneniya i ratsional'nogo ispol'zovaniya]. Minsk, 2019:92-97.
 10. Morozova OV. Taxonomic richness of Eastern European flora: factors of spatial differentiation [Taksonomicheskoye bogatstvo flory Vostochnoy Yevropy: faktory prostranstvennoy differentsiatsii]. Moscow: Nauka, 2008:328.
 11. Nosova LM, Leonova NB, Zimin MV. Analysis of the ranges of the main ecological and cenotic groups of plant species in the forest belt [Analiz arealov osnovnykh ekologo-tsenoticheskikh grupp vidov rasteniy lesnogo poyasa] Eastern European Forests [Vostochno-yevropeyskiye lesa] History in the Holocene and the present, Book 1 [Istoriya v golotsene i sovremennost']. Moscow: Nauka, 2004:270-282.
 12. Perfiliev IA. Flora of the Northern Territory, Part 1 [Flora Severnogo kraja] Higher spore, gymnosperms and monocots [Vysshie sporovyye, golosemyannyye i odnodol'nyye]. Arkhangelsk: Sevkraigiz, 1934:160.
 13. Perfiliev IA. Flora of the northern region, Chapter 2, 3 [Flora severnogo kraja] Bipartite [Dvudol'nyye]. Arkhangelsk: Sevkraigiz, 1936:407.
 14. Plantarium. Plants and lichens of Russia and neighboring countries: open online galleries and plant identification guide. 2022, Available at <https://www.planarium.ru/lang/en.html> (Date of Access 10/12/2021).
 15. Salnikov AL, Pilipenko VN, Nigmetova AM. Dynamics of the flora of the city of Astrakhan and its environs over the past 100 years [Dinamika flory goroda Astrakhani i yego okrestnostey za posledniye 100 let] Bulletin of the Orenburg State

- // Вестник Оренбургского государственного университета. № 6. С. 127-131.
16. Смирнова О.В., Торопова Н.А. 2016. Потенциальная растительность и потенциальный экосистемный покров // Успехи современной биологии. Т. 136. № 2. С. 199-211.
 17. Смирнова О.В., Шевченко Н.Е., Смирнов Н.С. 2015. Оценка потерь флористического разнообразия в основных типах темнохвойных лесов в верховьях реки Печоры // Труды Печоро-Илычского заповедника. Вып. 17. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН. С. 147-153.
 18. Толмачев А.И. 1974. Введение в географию растений. Л.: Изд-во ЛГУ. 244 с.
 19. Уланова Н.Г. 2018. Математические методы в геоботанике: учебное пособие. 2-е изд. М.: МАКС Пресс. 112 с.
 20. Флора и фауна средней тайги Архангельской области (междуречье Устьи и Кокшеньги). 2003. М.: Географический факультет МГУ. 70 с.
 21. Хорошев А.В. 2005. Ландшафтная структура бассейна р. Заячья (Важско-Северодвинское междуречье, Архангельская область). М: МГУ. 155 с.
 22. Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН. 2022 [Электронный ресурс <http://cepl.rssi.ru/> (дата обращения 17.03.2022)].
 23. Черепанов С.К. 1995. Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб.: Мир и семья. 990 с.
 24. Шmidt B.M. 1984. Математические методы в ботанике: учебное пособие. Л.: Изд-во ЛГУ. 228 с.
 25. Шmidt B.M. 2005. Флора University [Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta]. 2005;6:127-131.
 16. Smirnova OV, Toropova NA. Potential vegetation and potential ecosystem cover [Potentsial'naya rastitel'nost' i potentsial'nyy ekosistemnyy pokrov] Successes of Modern Biology [Uspekhi sovremennoy biologii]. 2016;136(2):199-211.
 17. Smirnova OV, Shevchenko NE, Smirnov NS. Assessment of losses of floristic diversity in the main types of dark coniferous forests in the upper reaches of the Pechora River [Otsenka poter' floristicheskogo raznoobraziya v osnovnykh tipakh temnochvoynikh lesov v verkhov'yakh reki Pechory] Proc. of the Pechoro-Ilychsky Reserve [Trudy Pechoro-Ilychskogo zapovednika]. Syktyvkar: Komi NTS UrO RAN, 2015;17:147-153.
 18. Tolmachev AI. Introduction to plant geography [Vvedeniye v geografiyu rasteniy]. Leningrad: Publishing house of LGU, 1974:244.
 19. Ulanova NG. Mathematical methods in geobotany: textbook, 2nd ed [Matematicheskiye metody v geobotanike: uchebnoye posobiye]. Moscow: MAKS Press, 2018:112.
 20. Flora and fauna of the middle taiga of the Arkhangelsk region (interfluve of Ustya and Kokshenga) [Flora i fauna sredney taygi Arkhangel'skoy oblasti (mezhdurech'ye Ust'i i Kokshen'gi)]. Moscow: Geograficheskiy fakul'tet MGU, 2003:70.
 21. Khoroshev AV. Landscape structure of the river Hare basin (Vazhsko-Severodvinskoe interfluve, Arkhangelsk region) [Landshaftnaya struktura basseyna r. Zayach'ya (Vazhsko-Severodvinskoye mezhdurech'ye, Arkhangel'skaya oblast')]. Moscow: MGU, 2005:155.
 22. Center for Problems of Ecology and Productivity of Forests of the Russian Academy of Sciences [Tsentr po problemam ekologii i produktivnosti lesov RAN]. 2022, Available at <http://cepl.rssi.ru/> (Date of Access 17/03/2022).
 23. Cherepanov SK. Vascular plants of Russia and neighboring states [Sosudistyye rasteniya Rossii i sopredel'nykh gosudarstv]. Saint-Petersburg: Mir i sem'ya. 1995:990.
 24. Schmidt VM. Mathematical methods in botany: textbook [Matematicheskiye metody v botanike: uchebnoye posobiye]. Leningrad: Publishing house of Leningrad State University, 1984:228.

- Архангельской области. СПб: Изд-во Санкт-Петербургского университета. 345 с.
26. Юрцев Б.А. 1968. Флора Сунтар-Хаята. Проблемы истории высокогорных ландшафтов Северо-Востока Сибири. Л.: Изд-во ЛГУ. 234 с.
27. The Plant List. 2022. A Working List for All Plant Species [Электронный ресурс <http://www.theplantlist.org> (дата обращения 15.09.2021)].
28. Landolt E. 1977. Okologische zeigerwerte zur Schweizer flora. Zurich. 211 p.
29. Meusel H., Jäger E., Weinert R. 1965. Vergleichende Chorologie der zentraleuropäischen Flora. Bd. 1. Jena: Gustav Fischer. 258 p.
30. Stielers Hand-Atlas. 1905. Gotha: Justus Perthers. 236 p.
31. Wörz A., Thiv M. 2015. The temporal dynamics of a regional flora – The effects of global and local impacts // Flora – Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants. Vol. 217. Pp. 99-108.
25. Schmidt VM. Flora of the Arkhangelsk Region [Flora Arkhangel'skoy oblasti]. Saint-Petersburg: Saint-Petersburg University Publishing House, 2005:345.
26. Yurtsev BA. Flora Suntar-Khayat [Flora Suntar-Khayata] Problems of the history of alpine landscapes in the North-East of Siberia [Problemy istorii vysokogornykh landshaftov Severo-Vostoka Sibiri]. Leningrad: Publishing house of Leningrad State University, 1968:234.
27. The Plant List. A Working List for All Plant Species. 2022, Available at <http://www.theplantlist.org> (Date of Access 15/09/2021).
28. Landolt E. Okologische zeigerwerte zur Schweizer flora. Zurich, 1977:211.
29. Meusel H, Jäger E, Weinert R. Vergleichende Chorologie der zentraleuropäischen Flora. Jena: Gustav Fischer, 1965;1:258.
30. Stielers Hand-Atlas. Gotha: Justus Perthers, 1905:236.
31. Wörz A, Thiv M. The temporal dynamics of a regional flora – The effects of global and local impacts. Flora – Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants. 2015;217:99-108.

UDC 574.91/581.91

CHANGES IN THE FLORA COMPOSITION OF PLANT COMMUNITIES IN THE SOUTHERN ARKHANGELSK REGION IN THE 20th CENTURY

E.A. Eremeeva, N.B. Leonova

M.V. Lomonosov Moscow State University
GSP-1, Vorobjevy Gory, Moscow, 119991, Russia. E-mail: nbleonova2@gmail.com

Received June 06, 2022. Revised August 30, 2022. Accepted September 01, 2022.

The study is devoted to the study of changes in the species composition of plant communities in the middle taiga territory in the south of the Arkhangelsk region based on the analysis of floristic data for different periods of time. According to the "Flora of the Northern Territory" by I.A. Perfiliev (1934-1936) a taxonomic list of higher vascular plants growing on the territory of the Ustyansky district (Arkhangelsk oblast) at the beginning of the 20th century has been compiled, than it has been corrected in accordance with contemporary taxonomic nomenclature; a comparative analysis of the floristic lists of the beginning of the 20th century and the modern one compiled for the same territory has been carried out. There were revealed differences in the taxonomic, ecological-coenotic and geographical composition of the both lists of vascular plant species; also, the groups of plants' species with the presence/absence status changing were compared as separate. Changes in the taxonomic composition were recorded in relation 140 species of vascular plants from 95 genera, 41 families that

had reduced nowadays; while 69 species from 57 genera, 31 families have been fixed here for the first time. While maintaining the general similarity of the taxonomic spectra for both periods, the study has revealed Cruciferae, Leguminosae taxa increasing and Cyperaceae, Ranunculaceae, Orchidaceae decreasing in floristic composition. Floristic similarity coefficients, Spearman and Kendall correlation coefficients as well as generic coefficient have been calculated. With a fairly high similarity of floristic lists according to Jaccard, the correlation coefficients showed a weak connection; and the generic coefficient has decreased. Thus, it may indicate a flora identity and biological diversity reducing due to the environmental changes.

An analysis of the ecological and coenotic composition of vascular plant species over two periods has showed an increase of disturbed habitats species and a decrease in plant species close to indigenous communities: nemoral, boreal, wetland.

Climate changes, in particular, the warm trend of increasing average annual temperatures and the sums of active temperatures over the study period, affected the change in the floristic composition of communities. Namely, the number of more cold-resistant species with a hypoarctic-boreal ranges has decreased and some warm-loving broad-leaved-forest-steppe and plurizonal species have appeared. According to the distribution of the number of species according to the Landolt ecological scales, the number of species with an increased need for warm supply, as well as mesoxerophytes, has increased. The proportion of alien species has also increased, most of which are aliens from more southerly regions (*Galega orientalis* Lam., *Lupinus polyphyllus* Lindl., *Heracleum sosnowskyi* Manden. etc.).

Keywords: floristic composition, plant communities, middle taiga, ecological and coenotic elements, ranges, alien species.

Acknowledgments. The authors would like to thank N.A. Romanenko for compilation of I.A. Perfiliev's flora lists.

Funding. This study was carried out within the research topic No. 121051100137-4 (GZ) "Spatio-temporal Organization of Ecosystems under Environmental Changes".

DOI: 10.24412/2542-2006-2022-3-5-26

EDN: SEPECQ

**CHANGES IN THE FLORA COMPOSITION OF PLANT COMMUNITIES
IN THE SOUTHERN ARKHANGELSK REGION IN THE 20th CENTURY**

© 2022. E.A. Eremeeva, N.B. Leonova

M.V. Lomonosov Moscow State University

GSP-1, Vorobjevy Gory, Moscow, 119991, Russia. E-mail: nbleonova2@gmail.com

Received June 06, 2022. Revised August 30, 2022. Accepted September 01, 2022.

Based on the analysis of floristic data for different periods of time, this work studies the species composition changes in plant communities of the middle taiga in the south of the Arkhangelsk Region. In accordance with the "Flora of the Northern Territory" by I.A. Perfiliev (1934-1936), we compiled a taxonomic list of higher vascular plants of the Ustyansky District, Arkhangelsk Region that were growing there in the early XX century, and then corrected it in accordance with modern taxonomic nomenclature. We also carried out a comparative analysis of the early XX century list and the modern one, compiled for the same territory, and found differences in their taxonomic, ecological, coenotic and geographical compositions, as well as in the groups of species that changed their presence/absence status. The taxonomic changes turned out to be a decrease in the list by 140 species of vascular plants from 95 genera and 41 families, while 69 species from 57 genera and 31 families were registered in the territory for the first time. Although the taxonomic spectra for both periods are generally similar, the study has revealed that Brassicaceae and Fabaceae taxa increased, but Cyperaceae, Ranunculaceae and Orchidaceae decreased. We calculated coefficients of floristic similarity, Spearman and Kendall coefficients of correlation, and the generic coefficient. According to Jaccard similarity coefficient, the correlation coefficients showed a weak relation, while the floristic lists were highly similar, but the generic coefficient has decreased. It may indicate that flora identity and biological diversity decline due to the environmental changes.

An analysis of the ecological and coenotic composition of vascular plants for both studied periods showed an increase of species of disturbed habitats and a decrease of those that were close to indigenous communities, such as nemoral, boreal and wetland.

Climate changes, in particular, the increase of average annual temperature and the sums of active temperatures over the studied period, affected the change in the floristic composition of plant communities. The number of cold-resistant species of a hypoarctic-boreal range decreased, while some heat-loving broad-leaved-forest-steppe and plurizonal species appeared. According to the distribution of the species numbers along the Landolt ecological scales, the number of species with a high need for warmth increased, as well as the number of mesoxerophytes. The proportion of alien species also increased, most of which coming from southerly regions: *Galega orientalis* Lam., *Lupinus polyphyllus* Lindl., *Heracleum sosnowskyi* Manden.

Keywords: floristic composition, plant communities, middle taiga, ecological and coenotic elements, ranges, alien species.

DOI: 10.24412/2542-2006-2022-3-27-47

EDN: APMFXP

Environmental changes, including climate changes, and the evolving agricultural development, with the following increasing anthropogenic pressure on natural ecosystems, have caused the species composition of plant communities to undergo significant transformation that affects biological diversity, leads to disappearance of some species in the studied territory and to emergence of the new ones. Climate changes in the second half of the XX century can, presumably, lead to a shift in the ranges boundaries of some species, which also has an effect on species composition of plant communities.

An analysis of extinct and new plant species list, as well as their ecological, coenotic and geographical characteristics can be used as indicators of changes in the natural environment, can provide a basis for forecasting of the further development of plant communities, and give us an overview of the potential flora in the studied region. Many recent geobotanical works are focused entirely on potential flora in connection with assessment and conservation of biological diversity (Morozova, 2009; Smirnova et al., 2015; Worz, Thiv, 2015; Smirnova, Toropova, 2016). However, comparing the floristic lists of a particular region, compiled with a time skip of more than 60-80 years, is a rather rare opportunity (Salnikov, 2005). "Flora of the Northern Territory" (1934-1936), a monograph of the remarkable Russian botanist Ivan Alexandrovich Perfiliev, compiled on the basis of his long-term observations started in the early XX century, presents a complete list of vascular plants species, including their habitats and location in the counties of the Arkhangelsk Governorate (Region) and all the adjacent regions. Since the 90s of the XX century, scientific expedition of M.V. Lomonosov Moscow State University (Department of Biogeography, Faculty of Geography) carries out researches in the Ustyansky District of the Arkhangelsk Region, including a detailed study of the species composition of plant communities in its central and southern parts (Flora and Fauna ..., 2003; Leonova, Goryainova, 2019). Many years of observations allowed researchers to make a relatively complete list of species, which can be compared in volume to the local floras of Velsk, Kotlas, and Verkhnyaya Toima (Schmidt, 2005).

The purpose of our work was to identify the dynamics of the floristic composition of plant communities in the middle taiga, using the example of the Ustyansky Region in a changing environment. It was done through a comparison and interpretation of floristic lists for different periods of time, the first half of the XX century and the early XXI century. Our objectives included the use of literary sources for compilation of a taxonomic list of higher vascular plants that grew on the territory in the early XX century, and adjusting it in accordance with the modern taxonomic nomenclature. We also carried out a comparative analysis of the said lists according to their taxonomic compositions; identified the ecological-coenotic and geographical characteristics of those species that make up the difference between the lists; interpreted the results by comparing them with the changes in the natural environment over the studied period. The dynamics of plant species, which, according to the data for the same period, grew at the border of their ranges, has been already considered by us in the earlier work (Eremeeva, Leonova, 2022).

Materials and Methods

To study plant species that were collected and described in the early XX century, we used the monograph of I.A. Perfiliev, "Flora of the Northern Territory", published in 1934-1936 in 3 volumes. To analyze modern flora, we used "Flora and Fauna of the Middle Taiga of the Arkhangelsk Region (Interfluve of the Ustyansky and Kokshenga Rivers)", published by the employees of the Department of Biogeography of Moscow State University in 2003, with recent additions (Leonova et al., 2021). To verify the analyzed data, we used the work of V.M. Schmidt, "Flora of the Arkhangelsk Region" (2005).

The study area is located in the southern part of the Arkhangelsk Region, namely, the central and southern parts of the Ustyansky District of the Arkhangelsk Region (Fig. 1), which used to belong to the Vologda Region, called the Velsky Uezd until 1929 (Fig. 2). When compiling the floristic list of the early XX century, for a correct comparison we chose those species from I.A. Perfiliev's monograph that were mentioned there for this particular territory of our study.

The studied territory is located between the tributaries of the Vaga River (between the Ustyansky and Kokshenga rivers), within the Ustyansky Plateau, which is composed of marls, sands, dolomites, Permian limestones, covered with relatively thin Quaternary deposits, such as glacial boulder loams, lacustrine-glacial loams and sandy loams, fluvioglacial sands and Moscovian sandy

loams. The distribution of soddy-calcareous soils depends on areas with shallow carbonate rocks, while the podzolic soils are zonal ones (Khoroshev, 2005). The climate of the territory is temperate continental, with long cold winters and moderately warm summers. The climatic indicators in Table 1, obtained from the Totma Station in Vologda Region for the first third of the XX century and for the modern period, illustrate a significant increase in temperatures and precipitation.

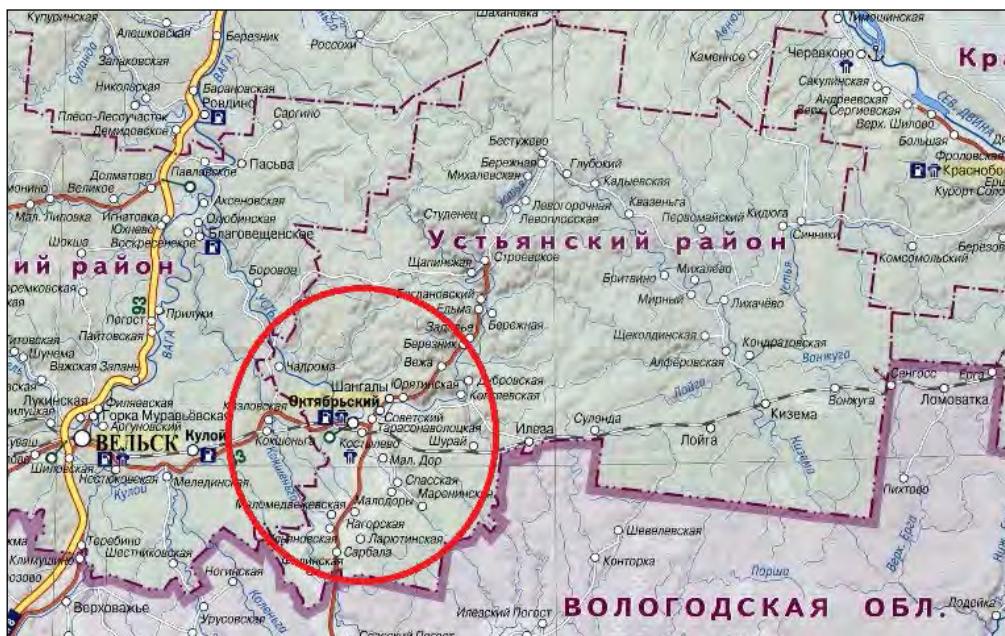


Fig. 1. Study region on the modern map of Arkhangelsk Region is marked with a red circle.

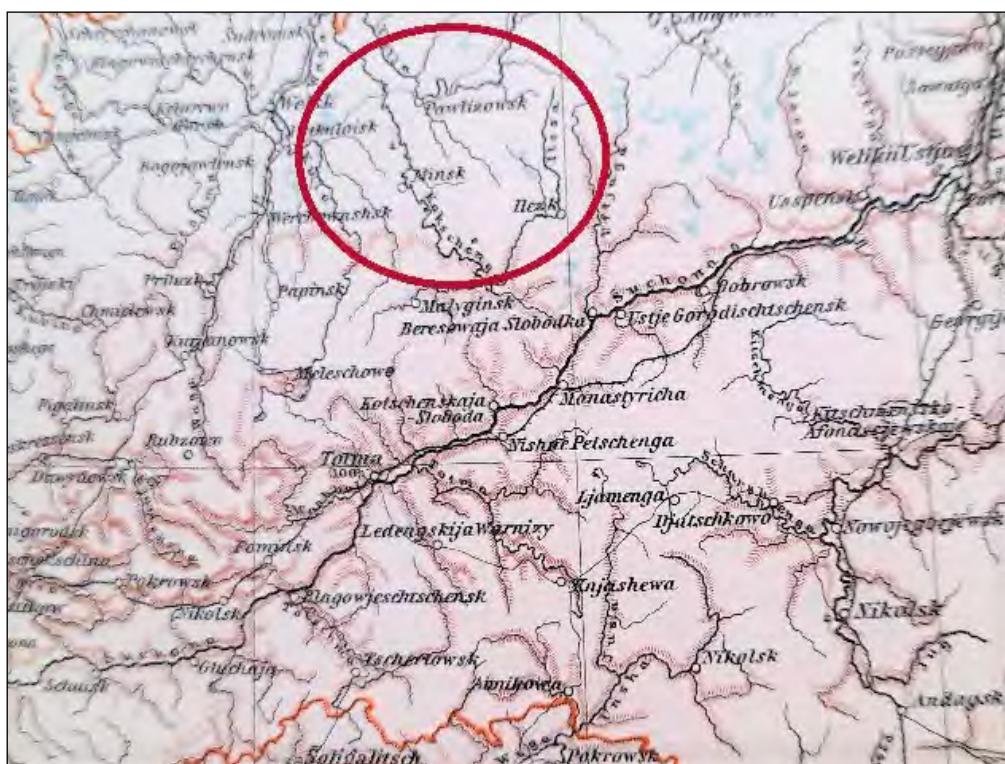


Fig. 2. Study region on a map of Vologda Governorate (Velsky Uezd) for the early XXI century borders (Stielers Hand-Atlas, 1905).

Table 1. Dynamic of climate indices for the study region in the first half of the XX century and the early XXI century, according to the data from the Totma Meteorological Station (Bulygina et al., 2021).

Climate indices	1925-1935	2010-2020
Average annual temperature, °C	+2.4	+4.0
Temperature of January, °C	-11.5	-11.1
Temperature of July, °C	+17.9	+18.2
Average sum of active temperatures for 10 years, °C	1770	1960
Average annual precipitation, mm	570	650

We created our tables and graphs on the basis of publicly available and free meteorological data of Russia and the former USSR (Bulygina et al., 2021). The more detailed dynamics and trends of changes in average annual temperatures, humidity, and the sum of active temperatures from 1925 to 2020 for the study area can be seen in the graphs (Fig. 3).

When the drainage is poor, the annual amount of precipitation is not provided with resources for evaporation, which partially retains moisture and causes flooding on watersheds. In the hydrological aspect, the territory is a well-drained plain, with a secure soil-ground runoff and a dense network of big and small rivers. A specific feature of most of these rivers is the fact that their valleys are embedded into the former channels of the melted glacial waters and lacustrine-glacial depressions, composed of fluvioglacial deposits. Therefore, the size and embeddedness even of the small river valleys (for example, of the Zayachya River) are very big (Photo 1). There are wide oligotrophic swamps (Photo 2) formed on vast watersheds (Gorbunova et al., 2014).

Various types of taiga forest are prevailing in the vegetation cover of the territory, formed with *Picea x fennica* (Regel) Kom and *Pinus sylvestris* L. (Photo 3); the secondary forests are formed mostly with *Betula pendula* Roth and *B. pubescens* Ehrh., and sometimes with *Populus tremula* L. and *Alnus incana* (L. Moench). The swamps are rare and usually afforested, and sometimes meadow communities are distributed in the rivers floodplains. Due to the wide distribution of fertile soddy-calcareous soils, the southern part of the Arkhangelsk Region has a long-term history of agricultural development. Upland meadows form and then transform into forest communities on the former agricultural lands in the watersheds (Photo 4). In the central and northern part of the Ustyansky Region lumbering affects significantly the natural complexes, although the forest cover of the region has been gradually increasing since the early XX century; it was about 85.5% in 1910-1920 (the former Velsky Uezd of the Vologda Region), 88% in the 1990s, and 92.6% nowadays. This increase is largely caused by the overgrowing of abandoned agricultural areas. However, the overgrowing occurs mainly thanks to small-leaved tree species, which changes the natural structure of forest communities. The most transformed part is located near the railroad Arkhangelsk – Konosha – Kotlas. Thus, the biotic cover of this territory has largely changed under anthropogenic influence (Gusev et al., 1994; Flora and Fauna..., 2003).

To compare the floristic lists, we used generally accepted characteristics, such as taxonomic composition, belonging to certain groups of life forms, eco-coenotic groups and geographical elements (Yurtsev, 1968). Such indicators as the proportion of plant species of the conditionally native taiga forests (boreal ecological-coenotic group), changes in the species composition on the borders of their ranges, and number of species of disturbed habitats, are of particular interest for the analysis of trends in changes in the floristic composition of plant communities. We analyzed the similarity using the Jaccard and Sørensen coefficients (Schmidt, 1984), as well as the calculation of the τ -coefficient and the Spearman coefficient (Ulanova, 2018).

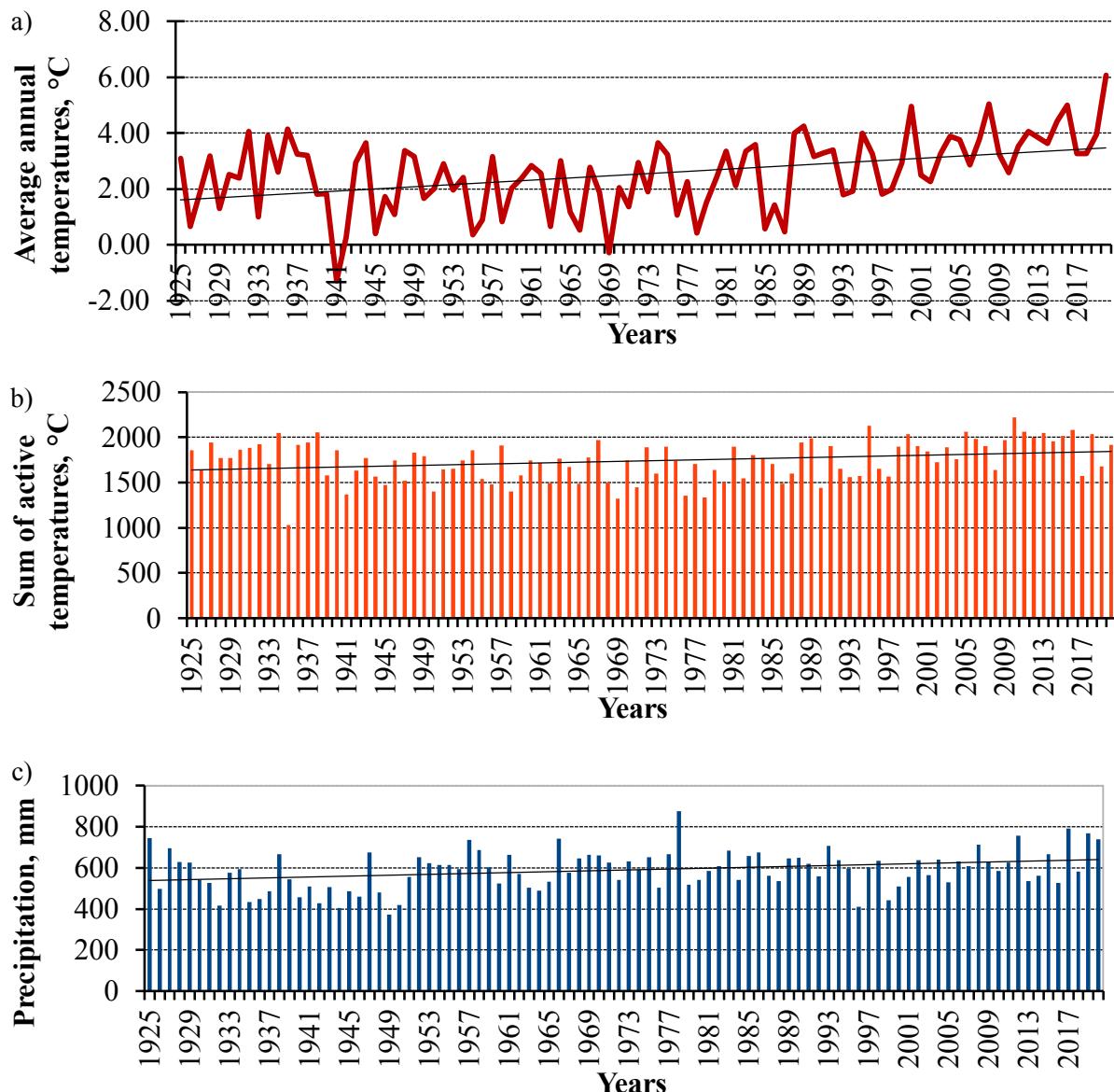


Fig. 3. Climate trends of the studied period according to the data from the Totma Station: a – average annual temperatures ($^{\circ}\text{C}$), b – sum of active temperatures ($> 10^{\circ}\text{C}$), c – Average annual precipitation (mm).

The modern nomenclature of vascular plant species is given according to S.K. Cherepanov (1995) and web-resources Plantarium (2022) and The Plantlist (2022). The characteristics of ecological-coenotic groups, life forms and ecological scales of Landolt are given according to the database of the Center for Problems of Ecology and Forest Productivity of the Russian Academy of Sciences (2022); the characteristics of longitudinal and latitudinal groups of plant ranges are given according to a number of various publications (Mejzel, 1965; Nosova et al., 2004; Database ..., 2022).

Results and Discussion

The floristic list of the early XX century includes 624 species of vascular plants from 80 families, while the modern list includes 547 species from 79 families. Comparison shows that

the modern list lacks 140 species from 95 genera and 41 families that were present in the I.A. Perfiliev's list; however, it includes 69 species from 57 genera and 31 families that were not registered in the XX century list.



Photo 1. Landscape of a moraine-erosion plain in the Ustyansky district (photo by N.B. Leonova).



Photo 2. Upland dwarf shrubs-sphagnum swamp with pine on a watershed (photo by N.B. Leonova).



Photo 3. Pine forest with dwarf shrubs-lichen in the Kokshenga River valley
(photo by N.B. Leonova).



Photo 4. Overgrowing fallows in the Zayachya River valley (photo by N.B. Leonova).

The similarity of the lists is estimated at 70% according to Jaccard and 83% according to Sørensen (Schmidt, 1984). The Spearman and Kendall coefficients of correlation that were calculated for both of them show that there is a weak negative correlation between the lists (Fig. 4). These results are most likely to be associated with the decreasing number of species that started in the early XX century, while the relative unity of floristic composition remains the same.

Spearman Rank Order Correlations (Лист1 in Index)				
MD pairwise deleted				
Marked correlations are significant at p < .05000				
Pair of Variables	Valid N	Spearman R	t(N-2)	p-value
Перфильев & Устьяны	687	-0.160749	-4.26264	0.000023

Kendall Tau Correlations (Лист1 in Index)				
MD pairwise deleted				
Marked correlations are significant at p < .05000				
Pair of Variables	Valid N	Kendall Tau	Z	p-value
Перфильев & Устьяны	687	-0.160749	-6.30395	0.000000

Fig. 4. Calculation of Spearman correlation coefficient and Kendall for two floristic lists, performed in STATISTICA, Version 10.

The composition of the first 10 largest families from both lists is close. They all start with the 3 leading families of the Boreal floristic region: Asteraceae, Poaceae and Cyperaceae. However, they are slightly different in ratios (Table 2). The proportion of Caryophyllaceae, Ranunculaceae, Orchidaceae and Lamiaceae species decreases, while Rosaceae, Fabaceae, Brassicaceae, Ericaceae and Plantaginaceae increase (Table 2, Fig. 5). It is likely that these changes are a sign of increasing proportion of adventitious Fabaceae (*Anthyllis macrocephala* Wender., *Lupinus polyphyllus* Lindl., *Medicago x varia* Martyn) and Brassicaceae species (*Lepidium densiflorum* Schrad., *Lepidium ruderale* L.) in the disturbed habitats. At the same time the decrease in Ranunculaceae (*Anemone ranunculoides* L., *Anemone sylvestris* L., *Pulsatilla patens* (L.) Mill.) and Orchidaceae (*Calypso bulbosa* (L.) Oakes) could indicate that their habitats disappear due to anthropogenic disturbances in the forest communities (Red Data Book ..., 2008, 2020). We should also add that, although Cyperaceae is still on the third place in the list, the number of those species dropped from 53 to 30. It is also possible that some early-flowering plants (*Anemone* spp., *Pulsatilla patens*) were not registered in modern studies due to insufficient field data from spring observations. Generic coefficient values, i.e. the ratio of the species number to the genera number (Tolmachev, 1974), is 1.90 for the modern list, and 2.01 for I.A. Perfiliev's list. And since the generic coefficient proves, according to A.I. Tolmachev (1974), that there is a ratio of autochthonous trends to allochthonous trends in florogenesis, then a slight decrease in this coefficient indicates an increase in migration processes nowadays.

Further analysis of floristic lists is based on the characteristics of those species of vascular plants, which “presence/absence” status has changed in both lists for periods of times in such characteristics as the composition of life forms, geographical ranges and ecological-coenotic groups.

Perennial herbs (hemicryptophytes) are dominant in the composition of *life forms* of plant

communities of the studied territory area, which makes up ½ of both floristic lists for both periods (Table 3). In the composition of newly registered species of 2000s that have not been found in the XX century, mainly perennial grasses make these proportions. The most noticeable changes can be seen among the water plants (helophytes), the number of which is higher in I.A. Perfiliev's list, as well as among the annual plants (therophytes; Fig. 6). For example, such aquatic plants as *Utricularia vulgaris* L., *Sparganium natans* L., and annual plants such as *Myosotis micrantha* Pall. ex Lehm. and *Draba nemorosa* L. are absent.

Table 2. Representation of families and their places in the regional lists in the first half of the XX and early XXI centuries.

Family	Flora, according to I.A. Perfiliev in 1930		Flora of the Ustyansky District in 2020	
	Number of species	Place	Number of species	Place
Asteraceae	60	1	66	1
Poaceae	58	2	46	2
Cyperaceae	53	3	30	3
Caryophyllaceae	29	4	21	6
Rosaceae	28	5	27	4
Fabaceae	23	6	26	5
Ranunculaceae	23	7	18	8
Brassicaceae	22	8	20	7
Orchidaceae	20	9	16	12
Lamiaceae	19	10	16	13
Apiaceae	18	11	17	11
Ericaceae	18	12	18	9
Plantaginaceae	16	13	18	10
Salicaceae	16	14	14	14

Composition of Geographical Elements. The most dominant species of the studied flora have very wide ranges (Table 4). They are Eurasian (35%) and Eurasian-North American (35%), which is generally typical for the boreal forests (Tolmachev, 1974). The European species, limited by the Ural Mountains in the east, make up only 12%, while the European-West Siberian ones make up 15% (Gorbunova et al., 2014).

According to the latitudinal distribution, there are large numbers of hypoarctic-boreal and taiga species (about 30%). The broad-leaved species have a rather large share (Table 4): coniferous-broad-leaved forests and broad-leaved forests (about 35%). It is worth noting that the percentage of species with their ranges close to the broad-leaved zone is quite high for the subzone of the middle and southern taiga, as it is higher than 10% (Gorbunova et al., 2014). One of these species is *Campanula latifolia* L. (Photo 5). The proportion of plurizonal species is more than 30% (Table 3).

The analysis of the composition changes for different periods of time showed that the composition of longitude groups is generally similar in both cases, but the number of North American and European species increases in the modern list. In the latitudinal groups there is a decrease in the hypoarctic-boreal species and an increase in the plurizonal species in the modern list, which also indicates an increase in adventitious species of North American and Southern European distribution (Fig. 7).

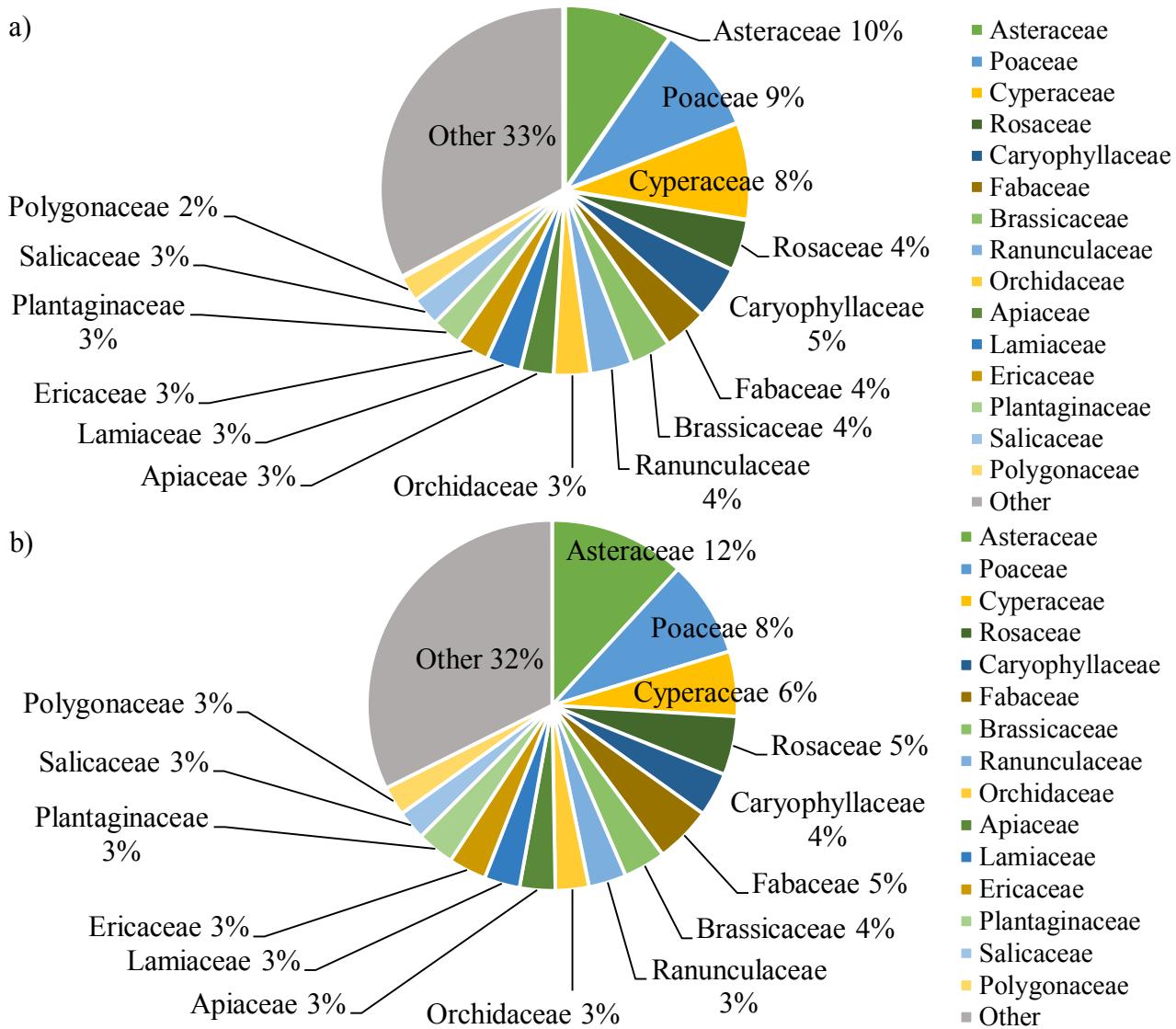


Fig. 5. Taxonomic spectra of the floristic composition in the communities of the studied territory: a) first half of the XX century, b) the early XXI century.

Table 3. Composition of life forms in different floristic lists for different periods of time.

Life forms	List of 1920-1930		List of 2000-2020	
	Number of species	Share, %	Number of species	Share, %
Phanerophytes	45	7	42	8
Chamaephytes	21	3	21	4
Hemicryptophytes	419	67	371	68
Cryptophytes	14	2	13	2
Therophytes	97	16	80	15
Helophytes	28	4	20	4
Total	624		547	

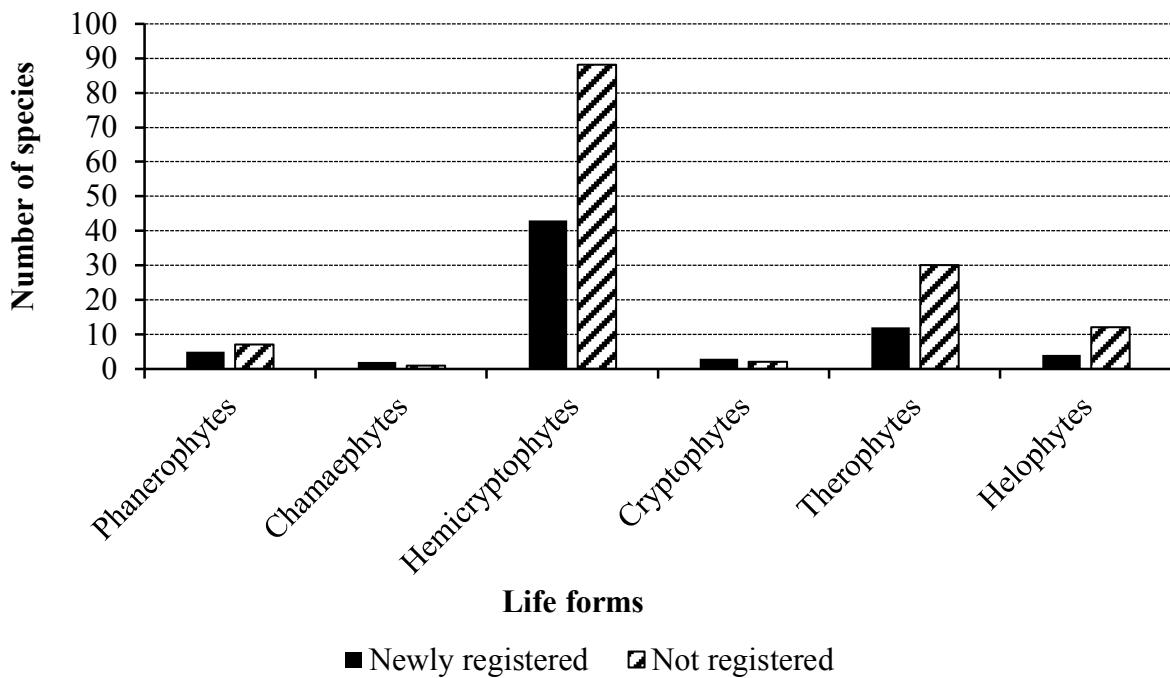


Fig. 6. The ratio between representatives of the main life forms according to Raunkiær in the composition of recently found and no longer found species of vascular plants.

Table 4. Composition of latitudinal and longitudinal ranges of the modern flora of the Ustyansky Region.

Latitudinal ranges	Number of species	Longitudinal ranges	Number of species
Hypoarctic-boreal	62	European	70
Taiga	85	Eurowest Siberian	81
Wide forests	195	Eurosiberian	15
Broad-leaved forests	10	Eurasian	176
Broad-leaved forest and forest-steppe	11	East Asian	2
Plurizonal	183	Eurasian-North American	180
		North American	10
		Cosmopolite	2

Ecological-coenotic groups of species. An analysis of changes in the *ecological and coenotic structure* of floristic lists (Table 5, Fig. 8) revealed serious shifts in some groups, indicating that there are changes in the habitat conditions and a structure reformation of the phytocenoses. The number of species of wetland habitats has sharply decreased by a third, which we already noted above in regard to the reducing sedges. The number of nemoral species also significantly decreased by 11, oligotrophic species decreased by 7. At the same time, among the species of the 2000s, almost half (46%) is from the meadow group, while the species of disturbed anthropogenic habitats are 11% (Photos 6, 7). Therefore, it is clear that proportion of species associated with anthropogenic disturbances and cutting of conditionally primary forests is increasing. Simultaneously, the number of species from various swamps, coniferous and nemoral-spruce forests decreased. The available

data did not let us identify specific changes in the land use structure, but a decrease in the number of wetland species and an increase in the species of disturbed habitats can be a sign of degradation in the near-water habitats and increased anthropogenic pressure on ecosystems.



Photo 5. *Campanula latifolia* L. is a species that can be found in the rare floodplain habitats since the times of I.A. Perfiliev and is registered in the “Red Data Book of the Arkhangelsk Region” (2020; photo by I. Dobromyslov).

Ecological amplitudes of plant species. To assess the ecological preferences of species in the plant communities during different periods of time, we assessed their distribution according to Landolt scales of thermal regime, continentality, soil moisture content, soil humus richness and illumination according (Landolt, 1977). These scales were picked because they cover almost the entire list of the species we studied, have a point scoring and are easily comparable. Each scale has five gradations from 1 to 5, according to the increasing effect of each factor.

Generally, their distribution on the Landolt ecological scales is quite similar for both lists and periods (Table 6). However, there is an increase in the heat-loving plants, in xerophytes and mesoxerophytes, with a decrease in the hygrophytes, noted in the modern list (Fig. 9), which is consistent with the general trends towards global climate warming. The indices of requirements for light and humus were the same in both lists and therefore are not included in the final table. The maximum proportion of species has 3 or 4 points, which matches the average indices of soil richness and average illumination.

Conclusions

The analysis of floristic lists for different periods of time in the middle taiga in the south of the Arkhangelsk Region allowed us to identify the dynamics of the floristic composition from the 1930s to 2000. The total number of vascular plant species has decreased by 77 taxa. Compared to the 1930s, the list has decreased by 140 species from 95 genera and 41 families, but increased by 69 new species from 57 genera and 31 families that have not been registered there before. Although the taxonomic spectra for both periods are generally similar, the study has revealed that Brassicaceae and Fabaceae taxa increased, while Cyperaceae, Ranunculaceae and Orchidaceae decreased.

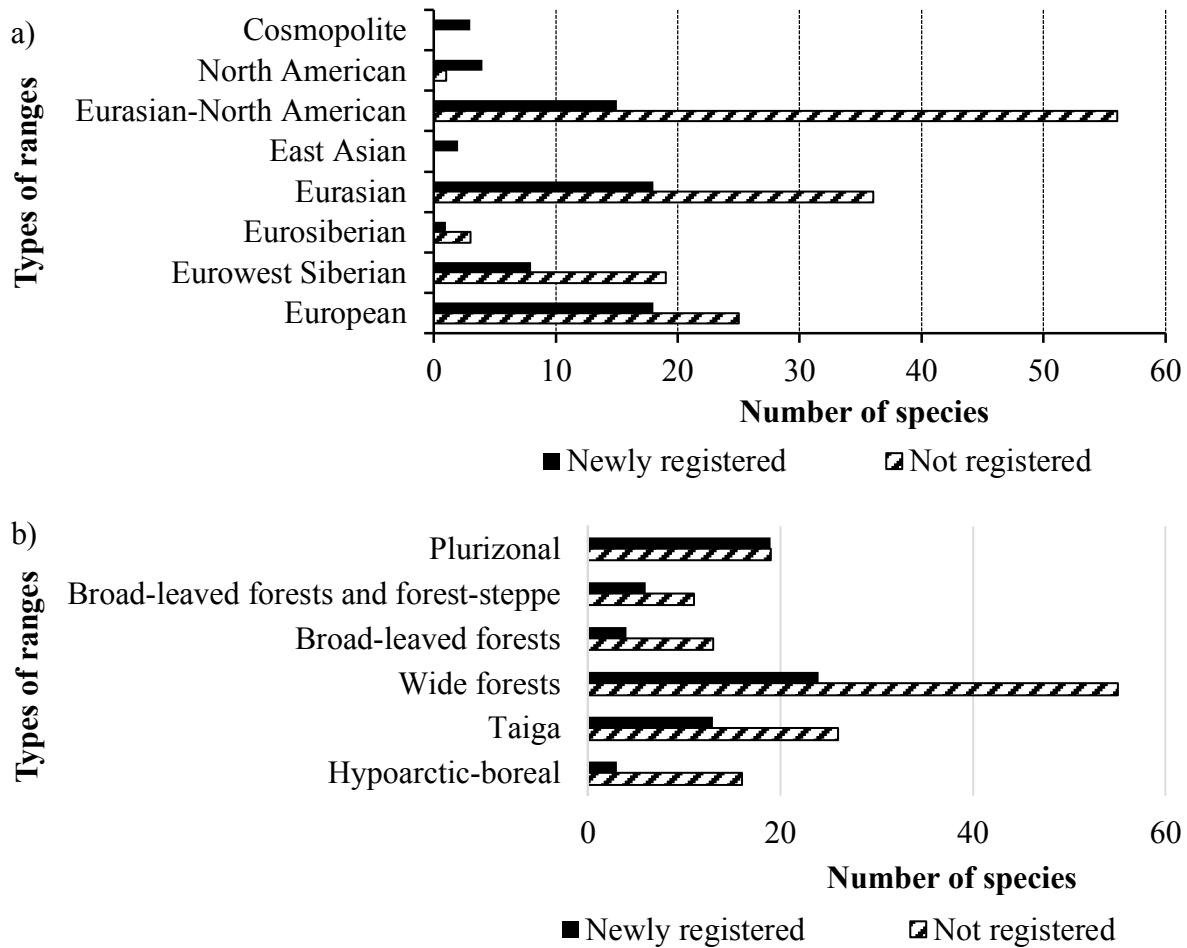


Fig. 7. Changes in species with different ranges: a) longitudinal elements, b) latitudinal elements.

Table 5. Composition of ecological-coenotic groups of plant species in the floristic lists for different periods of time.

Ecological-coenotic groups	List of 1920-1930		List of 2000-2020	
	Number of species	Share, %	Number of species	Share, %
Boreal (Br)	54	9	49	9
Nemoral (Nm)	53	8	42	8
Pine forest (Pn)	33	5	31	6
Meadow (Md)	212	34	200	37
Nitrophillous (Nt)	38	6	31	6
Oligotrophic (Olg)	33	5	26	5
Wetland (Wt)	152	24	119	22
Anthropogenic habitats (Ant + Advent)	16	2	18	3
Other	33	5	31	6

The analysis of the ecological and coenotic composition of vascular plants for both periods showed an increase in the number of disturbed habitats and a decrease in plant species close to

indigenous communities, such as nemoral, boreal and wetland. These changes are an obvious indicator of degradation in forest lands, even though the general level of forest cover, near-water and swamp habitats remain the same. They also show that the anthropogenic pressure on ecosystems grows, large number of secondary communities appear in the lumbering sites, in the abandoned agricultural lands and near the settlements.

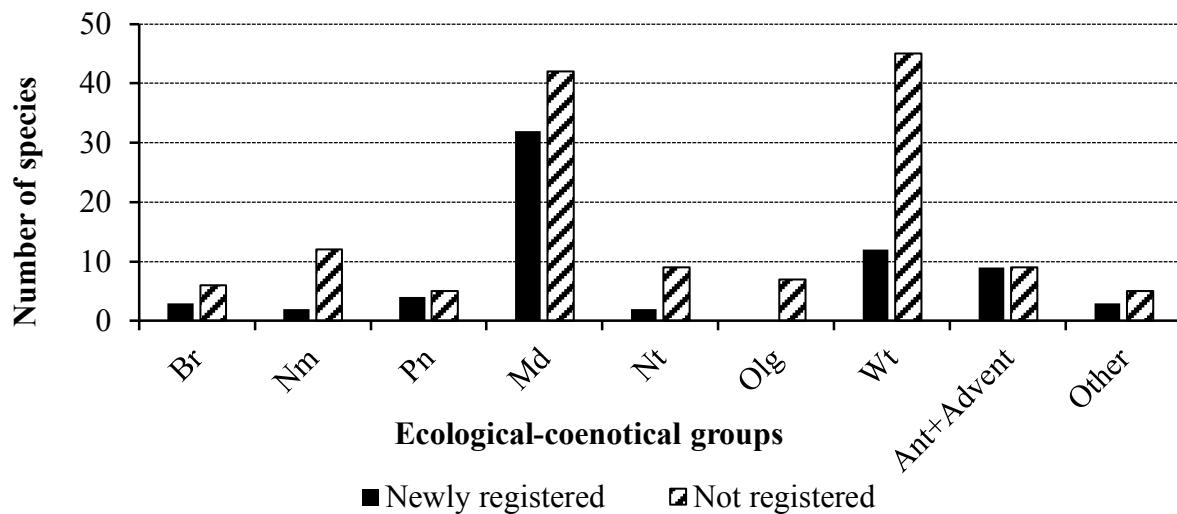


Fig. 8. Changes in the composition of ecological-coenotic groups of the floristic lists (the groups are marked according to Table 4).



Photo 6. *Lotus corniculatus* L. on the field edge. This species is absent in I.A. Perfiliev's list (photo by N.B. Leonova).



Photo 7. Thickets of *Heracleum sosnowskyi* Manden. along the bank of the Ustya River, near Shangaly settlement (photo by N.B. Leonova).

Table 6. Landolt distribution of the number of plant species in two floristic lists by their need for heat supply, climate continentality and soil moisture.

Points	Temperature*		Continentality**		Moisture***	
	Number of species in the list of 1920-1930	Number of species in the list of 2000-2020	Number of species in the list of 1920-1930	Number of species in the list of 2000-2020	Number of species in the list of 1920-1930	Number of species in the list of 2000-2020
1	0	0	0	0	18	18
2	56	50	61	53	119	105
3	285	247	372	333	216	201
4	176	161	98	84	154	121
5	20	15	1	1	113	95
0	1	1	3	3	2	2

Notes to Table 6. *Temperature: 1 – the most cold-resistant species (arctic and arctic-alpine), 2 – cold-resistant species (boreal), 3 – relatively cold-resistant species with a wide ecological range, 4 – relatively heat-loving species, 5 – exclusively heat-loving species. **Continentality: 1 – species in need for maritime climate (cannot tolerate temperature drops), 2 – species of temperate maritime climate (cannot tolerate significant temperature drops and late frosts), 3 – species of temperate continental climate (relatively resistant to abrupt changes of temperature), 4 – species of continental climate (resistant to extreme temperature changes), 5 – species of sharply continental climate (can be found only in places with extreme temperature changes). ***Moisture: 1 – xerophytes, 2 – mesoxerophytes, 3 – mesophytes, 4 – mesohygrophytes, 5 – hydrophytes.

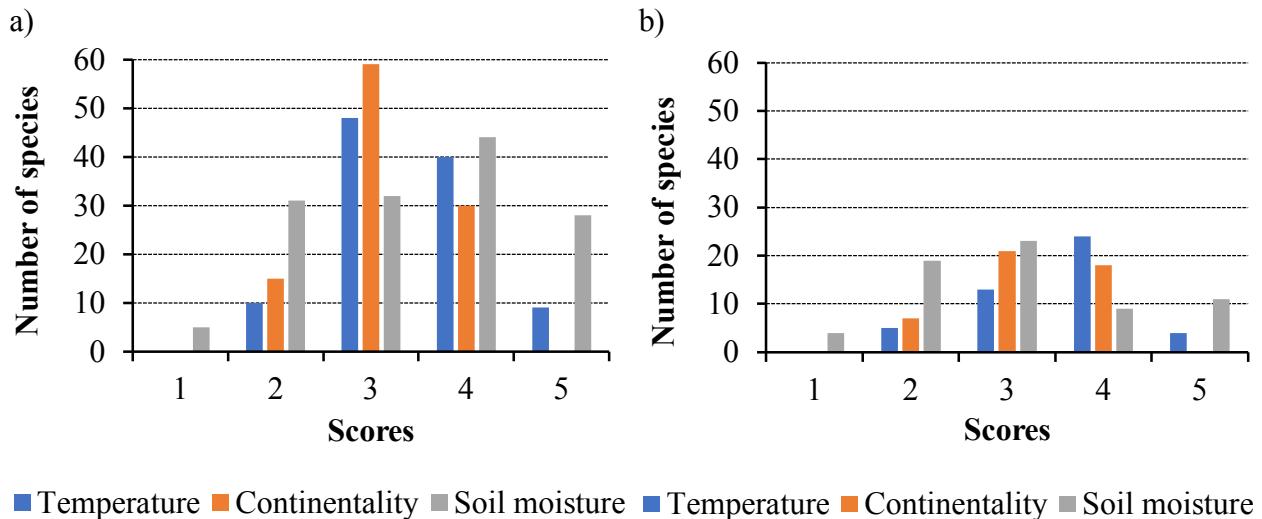


Fig. 9. Landolt distribution of plant species, the presence/absence status of which has changed, according to their needs for heat supply, climate continentality and soil moisture: a – for the species that have not been registered in the modern list, b – for the species that have been registered in the modern list for the first time.

Climatic changes, in particular, the trend of increasing average annual temperatures and the sums of active temperatures over the studied period, also transform the floristic composition of the local communities, which leads to a decrease in the number of more cold-resistant species of a hypoarctic-boreal range (*Pinguicula alpina* L., *Saxifraga hirculus* L., etc.) and causes some heat-loving broad-leaved-forest-steppe and plurizonal species to appear (*Artemisia dracunculus* L., *Gagea granulosa* Turcz., *Fragaria viridis* Weston, etc.). This conclusion can be also confirmed by the analysis of changes in the ecological preferences of those species. According to their distribution on the Landolt ecological scales, the number of species with an increased need for heat supply has grown higher, as well as the number of mesoxerophytes.

In addition to climate change, it should be taken into account that an increasing number of more heat-loving and less moisture-loving species correlates with the general trend of an increasing number of alien species, most of which come from farthest southern regions (*Galega orientalis* Lam., *Lupinus polyphyllus* Lindl., *Heracleum sosnowskyi* Manden). However, researches concerning the alien flora and its role in middle taiga communities is a subject for another study.

Acknowledgments. The authors would like to thank N.A. Romanenko for compilation of I.A. Perfiliev's flora lists.

Funding. This study was carried out within the research topic No. 121051100137-4 (GZ) “Spatio-temporal Organization of Ecosystems under Environmental Changes”.

REFERENCES

1. Database “Flora of vascular plants of Central Russia” [Baza dannykh “Flora sosudistikh rasteniy Tsentral'noy Rossii”] Institute of Mathematical Problems of Biology [Institut matematicheskikh problem biologii]. 2022, Available at <https://www.impb.ru/eco/> (Date of Access 15/08/2021).

REFERENCES

1. База данных «Флора сосудистых растений Центральной России». 2022. Институт математических проблем биологии [Электронный ресурс] <https://www.impb.ru/eco/> (дата обращения 15.08.2021)].
2. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н.,

2. Bulygina ON, Razuvaev VN, Aleksandrova TM. Description of the data set for daily air temperature and precipitation at meteorological stations in Russia and the former USSR (TTTR) [*Opisaniye massiva dannykh sutochnoy temperatury vozdukha i kolichestva osadkov na meteorologicheskikh stantsiyakh Rossii i byvshego SSSR (TTTR)*]. 2021, Available at <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#описание-массива-данныхaisori-m.meteo.ru/waisori/index.xhtml?idata=5> (Date of Access 10/11/2021)].
3. Gorbunova IA, Emelyanova LG, Leonova NB. Educational soil-biogeographic practice in the middle taiga [*Uchebnaya pochvenno-biogeograficheskaya praktika v sredney tayge*]. Moscow: APR, 2014:156.
4. Gusev II, Nevolin OA, Tretyakov SV. Forests and forest cover of the Arkhangelsk Region [*Lesa i lesistost' Arkhangel'skoy oblasti*] *Forest Journal [Lesnoy zhurnal]*. 1994;3:10-17.
5. Eremeeva EA, Leonova NB. Dynamics of the species composition of vascular plants near the northern borders of their habitats in the south of the Arkhangelsk Region [*Dinamika vidovogo sostava sosudistykh rasteniy, nakhodyashchikhsya vblizi severnykh granits arealov na yuge Arkhangel'skoy oblasti*] *Problems of Regional Ecology [Problemy regional'noy ekologii]*. 2022;1:60-66.
6. Map “Ustyansky district of the Arkhangelsk region” [*Karta “Ust'yanskiy rayon Arkhangel'skoy oblasti”*]. 2022, Available at <https://world-karta.ru/oblast/arhangel20.html> (Date of Access 21/05/2022).
7. Red Data Book of the Arkhangelsk region [*Krasnaya kniga Arkhangel'skoy oblasti*]. Arkhangelsk: Komitet po ekologii Arkhangel'skoy oblasti. 2008:351.
8. Red Data Book of the Arkhangelsk region [*Krasnaya kniga Arkhangel'skoy oblasti*]. Arkhangelsk: Severnyy (Arkticheskiy) federal'nyy universitet im. M.V. Lomonosova, 2020:490.
9. Leonova NB, Goryainova IN. Persistence and ecological-coenotic amplitude of plant species in the middle taiga region in the interfluve of the Ustya and Kokshenga [*Postoyanstvo i Александрова Т.М. 2021. Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР (TTTR). [Электронный ресурс http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#описание-массива-данныхaisori-m.meteo.ru/waisori/index.xhtml?idata=5 (дата обращения 10.11.2021)].*
3. Горбунова И.А., Емельянова Л.Г., Леонова Н.Б. 2014. Учебная почвенно-биогеографическая практика в средней тайге. М.: АПР. 156 с.
4. Гусев И.И., Неволин О.А., Третьяков С.В. 1994. Леса и лесистость Архангельской области // Лесной журнал. № 3. С. 10-17.
5. Еремеева Е.А., Леонова Н.Б. 2022. Динамика видового состава сосудистых растений, находящихся вблизи северных границ ареалов на юге Архангельской области // Проблемы региональной экологии. № 1. С. 60-66.
6. Карта «Устьянский район Архангельской области». 2022 [Электронный ресурс <https://world-karta.ru/oblast/arhangel20.html> (дата обращения: 21.05.2022)].
7. Красная книга Архангельской области. 2008. Архангельск: Комитет по экологии Архангельской области. 351 с.
8. Красная книга Архангельской области. 2020. Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова. 490 с.
9. Леонова Н.Б., Горяинова И.Н. 2019. Постоянство и

- ekologo-tsenoticheskaya amplituda vidov rasteniy srednetayezhnogo rayona v mezhdu rech'yi Ust'i i Kokshen'gi] Flora and vegetation in a changing world: problems of study, conservation and rational use [Flora i rastitel'nost' v menyayushchemsyia mire: problemy izucheniya, sokhraneniya i ratsional'nogo ispol'zovaniya]. Minsk, 2019:92-97.*
10. Morozova OV. Taxonomic richness of Eastern European flora: factors of spatial differentiation [*Taksonomicheskoye bogat'stvo flory Vostochnoy Evropy: faktory prostranstvennoy differentsiatsii*]. Moscow: Nauka, 2008:328.
 11. Nosova LM, Leonova NB, Zimin MV. Analysis of the ranges of the main ecological and coenotic groups of plant species in the forest belt [*Analiz arealov osnovnykh ekologo-tsenoticheskikh grupp vidov rasteniy lesnogo poyasa*] Eastern European Forests [*Vostochno-evropeyskiye lesa*] History in the Holocene and the present, Book 1 [*Istoriya v golotsene i sovremennost'*]. Moscow: Nauka, 2004:270-282.
 12. Perfiliev IA. Flora of the Northern Territory, Part 1 [*Flora Severnogo kraja*] Higher spore, gymnosperms and monocots [*Vysshie sporovyye, golosemyannyye i odnodol'nyye*]. Arkhangelsk: Sevkraigiz, 1934:160.
 13. Perfiliev IA. Flora of the northern region, Chapter 2, 3 [*Flora severnogo kraja*] Bipartite [*Dvudol'nyye*]. Arkhangelsk: Sevkraigiz, 1936:407.
 14. Plantarium. Plants and lichens of Russia and neighboring countries: open online galleries and plant identification guide. 2022, Available at <https://www.plantarum.ru/lang/en.html> (Date of Access 10/12/2021).
 15. Salnikov AL, Pilipenko VN, Nigmetova AM. Dynamics of the flora of the city of Astrakhan and its environs over the past 100 years [Dinamika flory goroda Astrakhani i yego okrestnostey za posledniye 100 let] *Bulletin of the Orenburg State University* [*Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*]. 2005;6:127-131.
 16. Smirnova OV, Toropova NA. Potential vegetation and potential ecosystem cover [*Potentsial'naya rastitel'nost' i potentsial'nyy* эколого-ценотическая амплитуда видов растений среднетаежного района в междуречье Устьи и Кокшеньги // Флора и растительность в меняющемся мире: проблемы изучения, сохранения и рационального использования. Минск. С. 92-97.
 10. Морозова О.В. 2008. Таксономическое богатство флоры Восточной Европы: факторы пространственной дифференциации. М.: Наука. 328 с.
 11. Носова Л.М., Леонова Н.Б., Зимин М.В. 2004. Анализ ареалов основных эколого-ценотических групп видов растений лесного пояса // Восточно-европейские леса. История в голоцене и современность. Кн. 1. М.: Наука. С. 270-282.
 12. Перфильев И.А. 1934. Флора Северного края. Ч. 1. Высшие споровые, голосемянные и однодольные. Архангельск: Севкрайгиз. 160 с.
 13. Перфильев И.А. 1936. Флора северного края. Ч. 2, 3. Двудольные. Архангельск: Севкрайгиз. 407 с.
 14. Планариум. 2022. Растения и лишайники России и сопредельных стран: открытый онлайн атлас и определитель растений [Электронный ресурс <https://www.plantarum.ru> (дата обращения 10.12.2021)].
 15. Сальников А.Л., Пилипенко В.Н., Нигметова А.М. 2005. Динамика флоры города Астрахани и его окрестностей за последние 100 лет // Вестник Оренбургского государственного университета. № 6. С. 127-131.
 16. Смирнова О.В., Торопова Н.А. 2016. Потенциальная растительность и потенциальный экосистемный покров // Успехи

- ekosistemnyy pokrov] *Successes of Modern Biology [Uspekhi sovremennoy biologii]*. 2016;136(2):199-211.
17. Smirnova OV, Shevchenko NE, Smirnov NS. Assessment of losses of floristic diversity in the main types of dark coniferous forests in the upper reaches of the Pechora River [*Otsenka poter' floristicheskogo raznoobraziya v osnovnykh tipakh temnokvoynych lesov v verkhov'yakh reki Pechory*] *Proc. of the Pechoro-Ilychsky Reserve [Trudy Pechoro-Ilychskogo zapovednika]*. Syktyvkar: Komi NTS UrO RAN, 2015;17:147-153.
 18. Tolmachev AI. Introduction to plant geography [Vvedeniye v geografiyu rasteniy]. Leningrad: Publishing house of LGU, 1974:244.
 19. Ulanova NG. Mathematical methods in geobotany: textbook, 2nd ed [*Matematicheskiye metody v geobotanike: uchebnoye posobiye*]. Moscow: MAKS Press, 2018:112.
 20. Flora and fauna of the middle taiga of the Arkhangelsk region (interfluve of Ustya and Kokshenga) [*Flora i fauna sredney taygi Arkhangel'skoy oblasti (mezhdurech'ye Ust'i i Kokshen'gi)*]. Moscow: Geograficheskiy fakul'tet MGU, 2003:70.
 21. Khoroshev AV. Landscape structure of the river Hare basin (Vazhsko-Severodvinskoe interfluve, Arkhangelsk region) [*Landshaftnaya struktura basseyna r. Zayach'ya (Vazhsko-Severodvinskoye mezhdurech'ye, Arkhangel'skaya oblast')*]. Moscow: MGU, 2005:155.
 22. Center for Problems of Ecology and Productivity of Forests of the Russian Academy of Sciences [*Tsentr po problemam ekologii i produktivnosti lesov RAN*]. 2022, Available at <http://cepl.rssi.ru/> (Date of Access 17/03/2022).
 23. Cherepanov SK. Vascular plants of Russia and neighboring states [*Sosudistyye rasteniya Rossii i sopredel'nykh gosudarstv*]. Saint-Petersburg: Mir i sem'ya. 1995:990.
 24. Schmidt VM. Mathematical methods in botany: textbook [*Matematicheskiye metody v botanike: uchebnoye posobiye*]. Leningrad: Publishing house of Leningrad State University, 1984:228.
 25. Schmidt VM. Flora of the Arkhangelsk Region [*Flora Arkhangel'skoy oblasti*]. Saint-Petersburg: Saint-Petersburg University современной биологии. Т. 136. № 2. С. 199-211.
 17. Смирнова О.В., Шевченко Н.Е., Смирнов Н.С. 2015. Оценка потерь флористического разнообразия в основных типах темнохвойных лесов в верховьях реки Печоры // Труды Печоро-Ильчского заповедника. Вып. 17. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН. С. 147-153.
 18. Толмачев А.И. 1974. Введение в географию растений. Л.: Изд-во ЛГУ. 244 с.
 19. Уланова Н.Г. 2018. Математические методы в геоботанике: учебное пособие. 2-е изд. М.: МАКС Пресс. 112 с.
 20. Флора и фауна средней тайги Архангельской области (междуречье Устьи и Кокшеньги). 2003. М.: Географический факультет МГУ. 70 с.
 21. Хорошев А.В. 2005. Ландшафтная структура бассейна р. Заячья (Важско-Северодвинское междуречье, Архангельская область). М: МГУ. 155 с.
 22. Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН. 2022 [Электронный ресурс <http://cepl.rssi.ru/> (дата обращения 17.03.2022)].
 23. Черепанов С.К. 1995. Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб.: Мир и семья. 990 с.
 24. Шmidt В.М. 1984. Математические методы в ботанике: учебное пособие. Л.: Изд-во ЛГУ. 228 с.
 25. Шmidt В.М. 2005. Флора Архангельской области. СПб: Изд-во Санкт-Петербургского университета. 345 с.
 26. Юрцев Б.А. 1968. Флора Сунтар-Хаята. Проблемы истории высокогорных ландшафтов

- Publishing House, 2005:345.
26. Yurtsev BA. Flora Suntar-Khayat [Flora Suntar-Khayata] *Problems of the history of alpine landscapes in the North-East of Siberia [Problemy istorii vysokogornykh landshaftov Severo-Vostoka Sibiri]*. Leningrad: Publishing house of Leningrad State University, 1968:234.
27. The Plant List. A Working List for All Plant Species. 2022, Available at <http://www.theplantlist.org> (Date of Access 15/09/2021).
28. Landolt E. Okologische zeigerwerte zur Schweizer flora. Zurich, 1977:211.
29. Meusel H, Jäger E, Weinert R. Vergleichende Chorologie der zentraleuropäischen Flora. Jena: Gustav Fischer, 1965;1:258.
30. Stielers Hand-Atlas. Gotha: Justus Perthers, 1905:236.
31. Wörz A, Thiv M. The temporal dynamics of a regional flora – The effects of global and local impacts. Flora – Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants. 2015;217:99-108.
- Северо-Востока Сибири. Л.: Изд-во ЛГУ. 234 с.
27. The Plant List. 2022. A Working List for All Plant Species [Электронный ресурс <http://www.theplantlist.org> (дата обращения 15.09.2021)].
28. Landolt E. 1977. Okologische zeigerwerte zur Schweizer flora. Zurich. 211 p.
29. Meusel H., Jäger E., Weinert R. 1965. Vergleichende Chorologie der zentraleuropäischen Flora. Bd. 1. Jena: Gustav Fischer. 258 p.
30. Stielers Hand-Atlas. 1905. Gotha: Justus Perthers. 236 p.
31. Wörz A., Thiv M. 2015. The temporal dynamics of a regional flora – The effects of global and local impacts // Flora – Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants. Vol. 217. Pp. 99-108.

УДК 574.91/581.91

ИЗМЕНЕНИЯ ВО ФЛОРИСТИЧЕСКОМ СОСТАВЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ ЮГА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ В ХХ ВЕКЕ

© 2022 г. Е.А. Еремеева, Н.Б. Леонова

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
Россия, 119899, г. Москва, Воробьевы горы, ГСП-1. E-mail: nbleonova2@gmail.com

Поступила в редакцию 06.06.2022. После доработки 30.08.2022. Принята к публикации 01.09.2022.

Исследование посвящено изучению изменений в видовом составе растительных сообществ среднетаежной территории на юге Архангельской области на основе анализа флористических сводок за разные временные периоды. По данным «Флоры Северного края» И.А. Перфильева (1934-1936) составлен и приведен к современной таксономической номенклатуре таксономический список высших сосудистых растений, произраставших на территории Устьянского района Архангельской области в начале XX века; проведен сравнительный анализ флористических списков начала XX века и современного, составленного для той же территории на начало XXI века. Выявлены различия в таксономическом, эколого-ценотическом и географическом составах разновременных списков видов сосудистых растений и отдельно в группах видов, изменивших статус присутствия/отсутствия на исследуемой территории. Изменения таксономического состава зафиксированы в отношении сокращения флористического списка на 140 видов сосудистых растений из 95 родов и 41 семейства, при этом вновь отмечены 69 видов из 57 родов и 31 семейства. При сохранении общего сходства таксономических спектров за оба периода отмечается увеличение таксонов из семейства крестоцветных и бобовых, сокращение представителей осоковых, лютиковых и орхидных. Рассчитаны коэффициенты флористического сходства, коэффициенты корреляции Спирмена и

Кендалла, родовой коэффициент. При достаточно высоком сходстве флористических списков по Жаккарду коэффициенты корреляции показали слабую связь, а родовой коэффициент уменьшился, что в целом говорит о сокращении самобытности флоры и биологического разнообразия в ходе изменений окружающей среды.

Анализ эколого-ценотического состава видов сосудистых растений за два периода показал рост видов нарушенных местообитаний и сокращение видов растений, близких к коренным сообществам: неморальных, boreальных, водно-болотных.

Климатические изменения, в частности, теплый тренд повышения среднегодовых температур и увеличения сумм активных температур за изучаемый период, отразились на изменении флористического состава сообществ, а именно, уменьшилось число более холодостойких видов с гипоарктическо-бoreальным ареалом, и появились некоторые теплолюбивые широколиственно-лесостепные и плоризональные виды. Согласно распределению числа видов по ступеням экологических шкал Ландольта, увеличилось число видов с повышенной потребностью в теплообеспеченности, а также мезоксерофитов. Также увеличилась доля чужеродных видов, среди которых большинство является пришельцами из более южных районов (*Galega orientalis* Lam., *Lupinus polyphyllus* Lindl., *Heracleum sosnowskyi* Manden.).

Ключевые слова: флористический состав, растительные сообщества, средняя тайга, эколого-ценотические элементы, ареалы, чужеродные виды.

Благодарности. Авторы выражают признательность Н.А. Романенко за предварительное составление списков флоры И.А. Перфильева.

Финансирование. Работа выполнена в рамках темы НИР 121051100137-4 (ГЗ) «Пространственно-временная организация экосистем в условиях изменений окружающей среды».

DOI: 10.24412/2542-2006-2022-3-27-47

EDN: APMFXP

===== МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ, ПОДДЕРЖАНИЯ И СОХРАНЕНИЯ ЭКОСИСТЕМ =====
И ИХ КОМПОНЕНТОВ

УДК 551.574.9

К МЕТОДИКЕ МОНИТОРИНГА ЛОКАЛЬНОГО ПЕРЕУВЛАЖНЕНИЯ АГРОЭКОСИСТЕМ
В СТЕПНОЙ ЗОНЕ

© 2022 г. Н.М. Новикова*, Н.А. Волкова*, О.Г. Назаренко**

*Институт водных проблем Российской академии наук

Россия, 119333, Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: ntnovikova@gmail.com

**Государственный центр агрохимической службы «Ростовский»

Россия, 346493, Ростовская обл., Аксайский р-н, пос. Рассвет. E-mail: nazarenkoo@mail.ru

Поступила в редакцию 22.04.2022. После доработки 30.08.2022. Принята к публикации 01.09.2022.

Локальное переувлажнение территории степной зоны на юге европейской части России обусловлено природными (флуктуацией климата) и антропогенными (тотальной распашкой) факторами. Размеры трансформированных участков «мочар» нестабильны и относительно невелики (в пределах десятков тысяч квадратных метров), но суммарная их площадь в посевах может достигать 15%, что вызывает нежелательные изменения агроэкосистем: приводит к потере урожая и становится постоянным источником расселения сорных видов. Долговременное изучение мочар и полученные данные о достоверности тесной связи периодов превышения среднегодовых сумм осадков с увеличением площади и интенсивности очагов локального переувлажнения, расселением гидро-галофильных растений (*Phragmites australis*, *Elytrigia repens*, *Tripolium aster* и др.) в зависимости от величины засоления и запасов влаги в почве позволили разработать систему показателей и критериев для методики мониторинга развития этого явления на конкретной территории. Предложен алгоритм работы, включающий этап выявления участков территории, подверженных локальному переувлажнению, и этапы изучения и оценки трансформации природных комплексов на каждом из участков. Оценка воздействия базируется на системе биологических и экологических показателей и критериев – индикаторов гидрогенной трансформации среды и биоты агроэкосистем (грунтовых вод, почв и растительности). Их совокупность дает возможность оценить степень и глубину произошедших изменений, дать рекомендации по уменьшению или прекращению развития негативных процессов переувлажнения на фоне прогноза климатических тенденций. Новизна содержания заключается в изложенной системе показателей и индикаторов, алгоритме работы по методике в рамках мониторинга.

Ключевые слова: очаг локального переувлажнения, индикаторы, виды растений, подтипы почв, критерий, засоление, запасы влаги, водный режим, Ростовская область.

DOI: 10.24412/2542-2006-2022-3-48-67

EDN: HIMMRB

Для естественного режима экосистем лесостепной и степной зон характерен климатически обусловленный дефицит влаги в отдельные сезоны года. Чаще всего он приходится на летний или весенне-летний период. Благодаря этому уровень грунтовых вод на плакорах этих зон находится на глубине более 3-6 м и они не участвуют в почвообразовательном процессе. С середины XX и в начале XXI вв. для лесостепной и степной зон на территории России отмечалось возрастание осадков и увеличение температур зимнего периода, что свидетельствует о развитии тенденции гумидного потепления как проявления глобального потепления климата (Кузьмина, 2007).

Климатические изменения и экологическая дестабилизация среды этих природных зон вследствие широкомасштабной распашки водосборных территорий, замещения природных экосистем агроценозами и агротехнические приемы, направленные на запасание влаги в почве, способствовали возрастанию влагообеспеченности и изменению водного режима

как автоморфных, так и гидроморфных ландшафтов. Во многих районах страны возникла проблема подтопления и засоления почв из-за подъёма уровня грунтовых вод на отдельных участках. Эта проблема весьма актуальна, поскольку снижает эффективность хозяйственной деятельности на сельскохозяйственных полях с плодородными черноземными почвами в условиях автоморфных ландшафтов не только из-за переувлажнения почв, последующего их засоления и заболачивания, но и из-за формирования рефугиумов карантинных сорняков и рудеральных видов в агроценозах.

Явление гидрогенной трансформации структуры, функционирования и компонентного состава агроэкосистем получило название «неогидроморфизм» (Новикова, Назаренко, 2007) и характерно как для европейской, так и для азиатской частей территории России. За длительное время исследований в лесостепной и степной зонах начиная с середины XX века был накоплен обширный объем информации по вопросу условий и причин формирования очагов локального переувлажнения и его воздействия на компоненты экосистем. Это получило достаточно полное освещение в научных публикациях, включая сведения о структурно-функциональной организации, причинно-следственных связях компонентов гидроморфных экосистем и воздействии их на прилегающие участки агроценозов (Волкова, Назаренко, 2005; Елизаров и др., 2020; Зайдельман и др., 2012; Кравцов, 2009; Назаренко, 2002; Новикова, Назаренко, 2007; Хитров, 2002; Хитров, Назаренко, 2012; Хитров и др., 2013; Чевердин и др., 2019).

Мониторинг является одним из основных методов контроля состояния окружающей среды. Общие схемы мониторинга и его научные основы были заложены академиком И.П. Герасимовым (1985). По его мнению, геосистемный или природно-хозяйственный мониторинг должен идти вслед за биоэкологическим мониторингом, контролирующим здоровье населения, и дополнять его. Одной из важных задач геосистемного мониторинга является контроль и слежение за ресурсами окружающей среды, используемыми человеком в хозяйственной деятельности. Мониторинг развития современного гидроморфизма, по нашему мнению, является именно экосистемным. Его специфика, прежде всего, в том, что он организуется для контроля развития процессов и явлений на локальном уровне, но данные наблюдений дают возможность решить природоохранные задачи на региональном уровне.

Разработка методики мониторинга неогидроморфизма осуществлялась на примере конкретных ландшафтов юго-восточных отрогов Донецкого кряжа (рис. 1) на территории Ростовской области. Разработанная в системе мониторинга методика направлена на выявление очагов переувлажнения, слежение и оценку интенсивности проявления и площади гидрогенно трансформированных участков на основании получения качественных и количественных индикационных характеристик компонентов экосистем. Обязательной частью мониторинга является разработка корректного решения задач по ликвидации или ослаблению развития этого негативного явления и прогноз.

Цель данной статьи – освещение основных положений разработанной авторами методики и демонстрация основных приемов ее использования для решения задач мониторинга по оценке нарушений в агроэкосистемах (как в целом для самой экосистемы, так и для отдельных ее биотических и абиотических компонентов), определения тенденций динамики, разработки прогноза и рекомендаций.

Теоретическое обоснование методики

Мониторинг современного гидроморфизма как явления, проводится на основе рассмотрения конкретных очагов его проявления. Это – основной методический подход, заложенный в работу по методике. Для теоретического обоснования методики в течение ряда лет выполнялись как наземные наблюдения за компонентами экосистем на стационарных ключевых участках, так и привлекались материалы дистанционного зондирования.

Для систематизации данных была использована ГИС-технология. Для разработки диагностических и оценочных показателей переувлажнения были изучены межкомпонентные экологические связи: виды растений – запасы влажности почв, виды растений – засоление почв в 58 очагах Октябрьского и Куйбышевского районов Ростовской области. Исследования проводились в содружестве с коллективом исследователей из Донского государственного аграрного университета (О.Г. Назаренко) и Почвенного института им. В.В. Докучаева (Н.Б. Хитров).

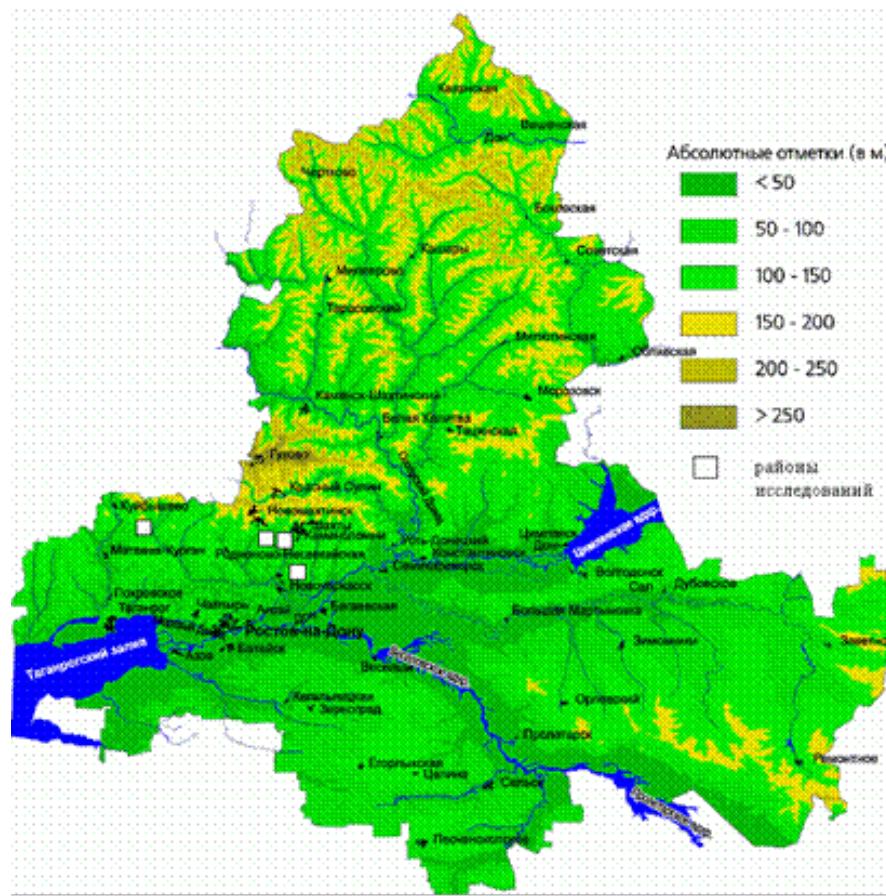


Рис. 1. Районы проведения комплексных исследований на территории Ростовской области (Волкова, Назаренко, 2005).

По рельефу территория натурных исследований представляет собой приподнятую слабоволнистую равнину. Согласно «Ландшафтной карте», составленной под редакцией И.С. Гудилина (1987), исследованный участок относится к равнинным суббореальным умеренно-континентальным типично степным (настоящие степи) лесовым аккумулятивно-денудационным Восточно-Европейским ландшафтам волнистых и плоских равнин с уплощенными останцовыми междуречьями, сильно- и умеренно-, местами слаборасчлененными долинами рек с асимметричными склонами балок, с западинами, сложенными лессовидными суглинками, подстилаемыми терригенными, интрузивными и метаморфическими породами, с сельскохозяйственными землями, участками разнотравно-злаковых степей на черноземах обыкновенных. Основные почвообразующие породы исследованных участков представлены желто-бурыми пылевато-иловатыми тяжелыми суглинками, красно-бурыми, желто-бурыми, зелеными глинами. На этих породах образовались черноземы обыкновенные. На исследуемых участках кроме черноземов

обыкновенных формируются очаги с полугидроморфными и гидроморфными почвами. Грунтовые воды на водосборах залегают на глубине 15-25 м. Минерализация вод различна, встречаются как пресные, так и соленые воды. Засоление вод хлоридно-сульфатное и сульфатно-хлоридное.

Территория освоена. Большую часть составляет пашня (60%), используемая под возделывание главным образом зерновых и масличных культур. Сенокосами и пастищами занято 20%, значительную часть составляют залежи – 15%. На остальных участках расположены лесополосы и дороги.

Исследования показали, что современный гидроморфизм исходно автоморфных почв развивается в степных ландшафтах в тех случаях, когда имеются определенные природные предпосылки (климатические, геоморфологические и гидрогеологические), ограничивающие естественные условия оттока воды, и антропогенная деятельность, прямо или косвенно изменяющая условия поступления и расхода воды, ее распределение и пути миграции в ландшафтах. Рассмотрение действия этих факторов позволяет раскрыть механизм формирования гидроморфных условий на плакорах в степной зоне.

Природные предпосылки развития неогидроморфизма, обусловленные естественным развитием территории, включают:

- особенности строения почвенно-грунтовой толщи – наличие литологической неоднородности, водоупора на глубине до 2-3 м;
- геоморфологические – формирование условий накопления, перераспределения поверхностного стока за счет геоморфологических структур разного уровня – мега-, мезо-, микро- и нанорельефа как современного, так и древнего;
- климатические – сезонная, годовая, многолетняя, вековая цикличность метеорологических показателей, таких как атмосферные осадки, температурный режим, испаряемость, радиационный баланс.

Наиболее наглядна зависимость переувлажнения от атмосферных осадков. Наблюдения, проведенные в 1997-2004 гг. на 58 участках очагов локального переувлажнения на плакорах, показали, что максимальные размеры их площади фиксировались при обеспеченности осадков $P \leq 25\%$, минимальные – при $P \geq 75\%$ (Волкова, Назаренко, 2005).

Антропогенные факторы, связанные с активной деятельностью человека и способствующие накоплению влаги в почве, подразделяются на:

- землестроительные – организация полей, грунтовых дорог, лесомелиоративные мероприятия;
- агротехнические – уничтожение естественных растительных сообществ, использование технологий, направленных на перевод поверхностного стока во внутриводный, неадаптированная структура посевных площадей, уплотнение почв.

Исследование переувлажненных участков позволило установить, что, как правило, они имеют неправильно концентрическое строение, хорошо заметное по смене преобладающих видов растений. Обобщенная схема структуры растительности в очаге переувлажнения представлена на рисунке 2. Наши исследования показали, что для каждого из растительных контуров характерны различные условия увлажнения и засоления. Взаимосвязи видов растений и сообществ с условиями переувлажнения почв довольно тесные и могут быть использованы в качестве показатели при анализе условий гидроморфизма в очагах.

1. Для моноценозов высокорослого (2-3 м) тростника (*Phragmites australis*¹) характерно постоянное сильное увлажнение. Агротехническая обработка почвы производится крайне редко, но чаще прекращена полностью.

¹ Латинские названия приводятся по работе С.К. Черепанов (1995).

2. В сообществах пырея ползучего (*Elytrigia repens*) и вейника наземного (*Calamagrostis dubia*) преобладает стабильное среднее переувлажнение, участки длительное время не обрабатываются. Нередко здесь господствует карантинный сорняк – амброзия полынолистная (*Ambrosia artemisiifolia*).

3. В сообществах сорняков (*Cirsium arvense*, *Xanthium strumarium*) переувлажнение среднее, периодически сокращающееся, участки периодически распахиваются.

4. Разреженные экземпляры тростника или пырея по распашке этого года (рис. 2, контур 4) характерны для участков пульсирующего увлажнения от сильного к среднему (в зависимости от водности года).

5. На прилегающих участках агроценозов обычно культурные растения отличаются сниженной жизненностью, часто в посевах принимает участие большое количество сорняков (рис. 2, контур 5), что можно объяснить тем, что эти участки имеют слабое переувлажнение и не могут быть обработаны в обычные сроки из-за высокой влажности почв. Вспашка и посев на них производятся в более поздние сроки, чем необходимо для нормального развития культурных растений.

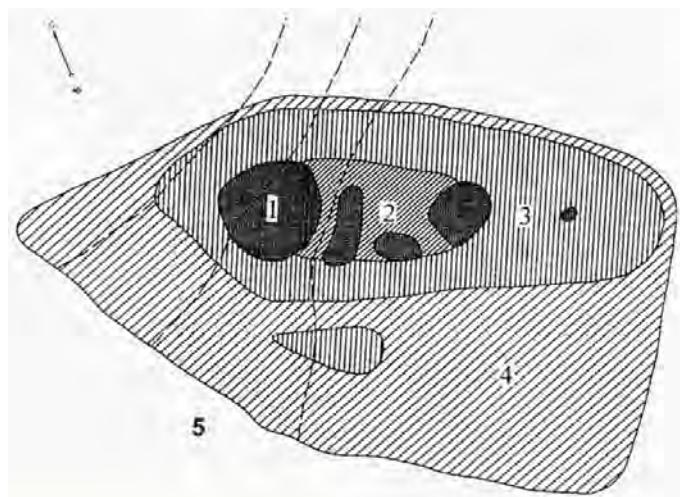


Рис. 2. Обобщенная схема пространственной структуры переувлажненного участка. Условные обозначения. Преобладающие виды растений: 1 – высокий тростник (*Phragmites australis*); 2 – пырей (*Elytrigia repens*), 3 – сорная растительность (*Ambrosia artemisiifolia*, *Cirsium arvense*, *Xanthium strumarium*) на распашке текущего года, 4 – невысокий тростник по распашке этого года, 5 – посев в более поздние сроки.

Связь распределения растений в очагах переувлажнения с водным фактором подтвердилась при изучении запасов влаги в почве под каждым из них. Различия в запасах влаги в почвенном горизонте 0-50 см под разными сообществами в очаге переувлажнения слабые, но существенные, если оценивать почвенную толщу до глубины 200 мм. Эти различия сохраняются в течение всего вегетационного периода. Как показали наши исследования, в ранневесенний (первое число) и позднелетний (второе число) периоды запасы влаги в толще 0-200 мм составляют под: *Phragmites australis* – 1000-800 мм; *Phragmites australis* и *Elytrigia repens* – 980-820 мм, *Elytrigia repens* – 940-820 мм, *Tripolium aster* – 820-650 мм, *Xanthium strumarium* – 800-600 мм, *Cirsium arvense* – 740-520 мм.

Грунтовые воды в исследованных очагах переувлажнения содержат легкорастворимые соли, поэтому происходит вторичное засоление почв солями сульфатного, хлоридно-сульфатного, сульфатно-хлоридного кальциево-магниево-натриевого состава. Распределение растительных сообществ обусловлено также особенностями солевого состава почв.

В разработанной методике экологические связи видов растений и засоления почв были formalизованы путем оценки их тесноты. Исходя из теоретических позиций индикации (Викторов и др., 1962), выделяются 4 градации индикаторов (табл. 1).

Таблица 1. Соответствие количественных и качественных градаций индикационного значения видов и сообществ.

N п.п.	Число совместных встреч индикатора и объекта индикации от всех точек описания, %	Качественная оценка индикационного значения
1	60-74	сомнительный индикатор
2	75-89	удовлетворительный
3	более 90	верный
4	100	абсолютный индикатор

При рассмотрении тесноты связи видов растений с глубиной залегания засоленного горизонта (солончаковые почвы – 0-30 см, глубокосолончаковые – 80-150 см) и степенью засоления (плотный остаток солей в сильно засоленных почвах – 0.4-0.8%, в слабозасоленных – 0.1-0.2%) на исследованных участках были выявлены индикаторы, имеющие разную тесноту связи с засолением почв (табл. 2).

В тех ситуациях, когда частота встреч вида в определенных условиях превышала 60%, данный вид принимался в качестве индикатора (табл. 2, 3).

Таблица 2. Сопряженность видов травянистых растений с засолением почв (индикационное значение) на разной глубине в %.

Виды растений	Динамические варианты почв		
	солончаковые сильнозасоленные	солончаковые слабозасоленные	глубоко-солончаковые слабозасоленные
<i>Artemisia austriaca</i>	80		
<i>Tripolium pannonicum</i>	100		
<i>Lappula squarrosa</i>		86	
<i>Puccinellia distans</i>	60		
<i>Thlaspi arvense</i>		86	
<i>Artemisia absinthium</i>	78		
<i>Sinapis arvensis</i>			71
<i>Lactuca serriola</i>			88

Рассмотрение данных в таблицах 2 и 3 позволяет заключить, что виды *Artemisia austriaca* и *Tripolium pannonicum* можно назвать маркерами черноземов обыкновенных солончаковых сильнозасоленных (частота встреч составила 80% и 100% соответственно). *Lappula squarrosa* маркирует солончаковые слабозасоленные почвы (86%), *Sinapis arvensis* приурочен к глубокосолончаковым слабозасоленным почвам (71.4%), *Thlaspi arvense* – к солончаковым слабозасоленным (86%), *Veronica agrestis* – к незасоленным (66.7%) и солончаковым слабозасоленным (67%) черноземам. *Lactuca serriola* можно назвать удовлетворительным индикатором глубокосолончаковых слабозасоленных почв. Тесной связи тростника с определенной степенью засоления черноземов не выявлено. Отмечено лишь снижение

доминантной роли вида на фоне уменьшения почвенного засоления в местах его произрастания.

Таблица 3. Сопряженность видов (%) со степенью засоления почв (индикационное значение) в метровой толще на ключевом участке.

Индикатор (вид растения)	Степень засоления		
	незасоленные черноземы обыкновенные (EC<4 дСм/м)	незасоленные черноземы обыкновенные (EC<4 дСм/м)	незасоленные черноземы обыкновенные (EC<4 дСм/м)
<i>Tripolium pannonicum</i>			82
<i>Coronilla scorpioides</i>	60		
<i>Lactuca tatarica</i>		67	
<i>Senecio vernalis</i>	67		
<i>Cichorium intybus</i>	69		
<i>Euphorbia volhynica</i>	80		
<i>Salvia verticillata</i>	80		
<i>Sonchus arvensis</i>	82		
<i>Atriplex oblongifolia</i>			100

Черноземы обыкновенные среднезасоленные маркируются сообществами с доминированием астры солончаковой (*Tripolium pannonicum* – 82%), а также лебеды продолговатолистной (*Atriplex oblongifolia* – 100%). Удовлетворительными индикаторами незасоленных почв оказались такие степные виды, как *Coronilla scorpioides*, *Euphorbia volhynica* и *Salvia verticillata*.

Среди видов растений, имеющих широкую экологическую амплитуду и встреченных на всех вариантах засоления с разной частотой и обилием, можно назвать *Ambrosia artemisiifolia*, *Convolvulus arvensis*, *Elytrigia repens*, *Lactuca tatarica*, *Lappula squarrosa*, *Melilotus officinalis*, *Thesium linifolium*, *Daucus carota*.

Характеристики гидроморфизма в почвах можно использовать как показатель глубины залегания грунтовых вод (табл. 4). В качестве индикатора используются подтипы почв.

Обобщая конкретные данные, полученные при натурных исследованиях для использования в разрабатываемой методике, была составлена таблица индикаторов степени проявления гидроморфизма на локальных участках в агроценозах. Приведенные в таблице конкретные количественные данные, которые могут быть получены в натурных исследованиях (глубина залегания и минерализация грунтовых вод, характер водного режима биотопа, признаки гидроморфизма в почвах и растительности), получили экологическую оценку (табл. 5).

Основные положения методики

Назначение методики. Методика разработана для стандартизации мониторинга динамики наземных экосистем при изменении природных факторов – регионального фонового климата и увлажнения на основе алгоритма последовательных действий. Задачи, на решение которых направлена методика, состоят в следующем: 1) выявление участков локального переувлажнения, определение их распространения в регионе; 2) оценка

степени переувлажнения и водного режима на основе применения системы показателей и критериев.

Таблица 4. Диагностические признаки гидроморфных условий в почвах разных подтипов (Волкова, Назаренко, 2005).

Тип почвы	Подтип почвы	Глубина проявления оглеения в почвенном профиле (в виде сизоватых тонов и железисто-марганцевых конкреций)	Уровень почвенно-грунтовых вод, м
Черноземы	Чернозем обыкновенный	Нет сизых тонов	Разного уровня
Лугово-черноземные	Лугово-черноземная	Глубже 2 м	3-4
	Лугово-черноземная	Нижняя часть профиля до 2 м	2-2.5
Луговые	Черноземно-луговая	Нижняя часть профиля до 2 м	1.5-2
	Луговая	Под гумусовым горизонтом, в слое 50-80 см	1-1.5

Область применения методики: использование в системе мониторинга для обеспечения экологической безопасности, при решении вопросов рационального использования земельных ресурсов.

Источники информации: планы землеустройства (масштаб 1:25000), почвенные карты хозяйств (масштаб 1:10000 и 1:25000), фондовые материалы. Официальные данные на территории прилегающих ландшафтов, не затронутых воздействием. Сбор данных и их накопление проводится по разным компонентам природных комплексов по специально разработанному алгоритму.

Общей теоретической платформой методики является рассмотрение структурно-функциональной организации и динамики биотических и абиотических компонентов экосистем на основе взаимосвязей в системе «показатели биоценоза – показатели водного фактора».

Методические подходы и методы, используемые в работе.

- Материалы дистанционного зондирования для обнаружения очагов переувлажнения.
- Методический подход «ключ – опыт» для сопоставления и оценки трансформации природных комплексов. В качестве «ключевых» участков используются участки ландшафта, не затронутые воздействием переувлажнения, а участки, находящиеся под его воздействием, – в качестве «опытных».
- Методический подход, заключающийся в рассмотрении очага переувлажнения как блоковой экотонной системы, выстроенной по градиенту возрастания почвенного переувлажнения. Именно такое рассмотрение пространственной и функциональной структуры очага позволяет оценить гидрологическое воздействие переувлажнения на агрогеносистемы и его особенности через характеристики глубины залегания уровня грунтовых вод, увлажнения почв, степени подтопления, качества грунтовых вод.
- Полевые инструментальные работы и материалы дистанционного зондирования используются при выявлении границ разного воздействия.
- Описываются почвенные профили, фиксируется глубина залегания почвенно-

грунтовых вод, описывается видовой состав растительности, проективное покрытие, обилие видов, учитывается хозяйственная урожайность видов и сообществ. Проводится крупномасштабное (1:1000) картографирование почв с повторностью раз в 3-4 года и ежегодное картографирование растительности методом кипрегельной съемки. Отбор образцов почв на засоление проводился послойно: 0-10, 10-30, 30-50, 50-70, 70-100 см.

- Для получения современных данных, характеризующих состояние природных комплексов, используются методы полевых эколого-географических исследований, в т.ч. инструментальное топо-экологическое профилирование с заложением трансект и точек ключевых почвенных и геоботанических исследований, с описанием состава и структуры растительности и учетом надземной фитомассы, выявлением индикаторов современного гидроморфизма; специально отмечается наличие индикаторов гидроморфизма. Все точки топо-экологического профиля на дату проведения съемки привязываются к относительным высотным отметкам местности, фиксируется геопозиция.

- Оценка гидрогенной трансформации природных комплексов проводится на основании комплекса индикаторов основных компонентов ландшафта: растительности и почв. Для этого разработаны качественные и количественные показатели и экологические критерии их значений. Оценочными критериями служат состояние и пространственная структура растительности очага гидроморфизма, что дает возможность выделить 3 категории: *сильной, средней, слабой* степени развития переувлажнения. В качестве дополнительного показателя используются значения площадей участков с разной степенью переувлажнения.

- Методы математической статистики для обработки и анализа данных направлены на выявление тесноты и достоверности связи растительности с основными факторами – водным (влагосодержание почв) и засоление почв.

- Для удобства хранения и обработки экспериментальные данные сосредоточиваются в тематически связанных между собой таблицах, созданных в прикладной программе EXCEL. Для обработки и анализа данных используются специальные прикладные программы ECOL, STATISTICA, SPSS, ARCVIEW.

- Засоленность почв и материнских пород оценивается на основе краткой характеристики ионно-солевого состава (Руководство ..., 1990). Использовались регистрирующий прибор “Экотест pH-120”, ионоселективный электрод pNa фирмы “Эконикс”, хлорсеребряный вспомогательный электрод ЭВЛ-1М3. Пространственное распределение солей на ключевых точках оценивали по результатам измерения активности ионов натрия в пастах большого числа образцов. Основная масса корней (до 95%) большинства видов, встреченных на участке, располагается в слое 0-50 см, что дало основание рассматривать показатели засоления почв преимущественно в этом слое.

- Отбор образцов для определения влажности почв проводится на динамических площадках ключевого участка в течение всего года с частотой 1 раз в 2 недели в теплое время года и 1 раз в месяц в холодное. Образцы отбираются в трехкратной повторности по 10 см слоям почвенной толщи до грунтовой воды.

Алгоритм работы в соответствии с методикой рассмотрен на конкретных примерах по данным исследований 58 очагов переувлажнения в степной зоне Ростовской области на юге европейской части России. Работа по методике включает несколько этапов (шагов), последовательно решают основные задачи мониторинга.

Первый шаг решает задачу выявления распространения очагов переувлажнения на исследуемой территории. Для этой цели используются материалы дистанционной съемки с разрешением 30 м и более. На них на однородном фоне агроландшафтов более темным фототоном четко выделяются очаги переувлажнения и разнообразными геометрическими очертаниями (рис. 3).

Таблица 5. Индикаторы степени проявления локального гидроморфизма и их экологическое значение.

№ п.п	Показатели	Экологическое значение (критерии)
1	Заливание, длительность и частота, дни	Слабое – 10 до 15 дней, не ежегодно. Среднее – 16-40 дней, ежегодно. Сильное – более 40 дней ежегодно.
2	Грунтовые воды, глубина залегания, м	Присутствие в почвенном профиле – от поверхности до 3 м.
3	Грунтовые воды, подтопление, м	Сильное – 0.3-1 м. Умеренное – 1.25 м. Слабое – от 2.5 до 5 (6) м.
4	В почвенном профиле	<ul style="list-style-type: none"> • Повышенная мощность гумусового горизонта (A+AB) для лугово-черноземных и лугово-черноземных почв более 130 см и влажнолуговых более 100 см. • Интенсивный черный оттенок верхней гумусовой толщи. • Присутствие горизонтов с развитием признаков современных окислительно-восстановительных процессов в виде гидроокисных пленок железа (охристых пятен), сизоватости, включения марганцево-железистых новообразований (бобовинок) на глубине от 1 до 2 м – слабое проявление лугового процесса; под гумусовым горизонтом, в слое 50-80 см, идет активный луговый процесс. • Глубинная глееватость в виде сизых пятен и своеобразный карбонатный профиль (журавчики, промытость от карбонатов до глубины 100 см), а в случае засоленных вод – специфический солевой профиль. • Для степной зоны – глубина залегания первичного и вторичного гипса (шестоватый гипс), свидетельствующие об уровне поднятия капиллярной каймы грунтовых вод; присутствие карбонатной плесени или размытых палевых пятен белоглазки (CaCO_3). • Наличие палевой белоглазки свидетельствует о современном гидроморфизме. • Глубина залегания вторичного мелкокристаллического гипса является показателем уровня капиллярной каймы или грунтовых вод, а также образовавшейся верховодки.
5	В растительности	<p>Доминирование или присутствие видов-индикаторов</p> <ul style="list-style-type: none"> • переувлажнения: сильное – <i>Phragmites australis</i>, среднее – <i>Elytrigia repens</i>, слабое – <i>Cirsium arvense</i>; • засоления почв: доминирование или присутствие с достоверностью 70-100%: сильное (сумма солей – 1-2%) на глубине 0-30 см – <i>Tripolium aster</i>, <i>Artemisia austriaca</i>, <i>Artemisia absinthium</i>, <i>Puccinellia distans</i>; поверхностное слабое (0.5-0.25%) на глубине 0-30 см – <i>Lappula squarrosa</i>, <i>Thlaspi arvense</i>; глубинное слабое (0.5-0.25%) на глубине 80-150 см – <i>Sinapis arvense</i>, <i>Lactuca serriola</i>.

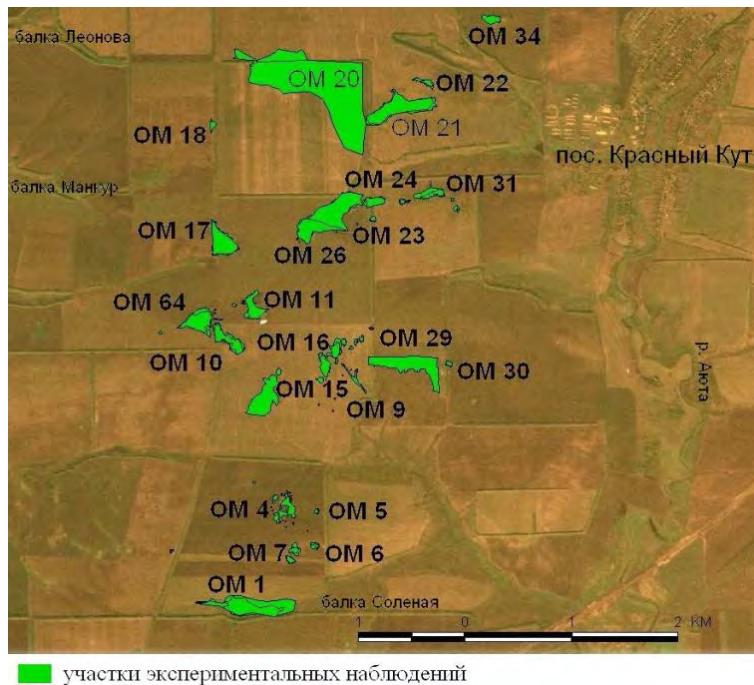


Рис. 3. Участки переувлажнения в агроценозах на территории совхоза «Россия» Октябрьского района Ростовской области.

Материалы дистанционного зондирования позволяют обследовать территории разного размера от поля до района или области и выявить масштаб развития этого явления.

Результаты проделанной работы представляются в виде картосхем, на которых показана доля площади очагов переувлажнения в процентах от площади административной единицы (рис. 4).

Второй шаг направлен на оценку степени и режима переувлажнения каждого выявленного очага переувлажнения. Устанавливаются непосредственные источники переувлажнения. Оценка степени переувлажнения устанавливается на основании изучения внутренней организации очагов переувлажнения путем натурных исследований и изучения материалов дистанционного зондирования. Наиболее наглядным индикатором переувлажнения является растительность. Она характеризует современное состояние условий среды, в то время как почвы, как более консервативный компонент экосистем, характеризуют долговременные изменения, и, в особенности, – режим увлажнения.

Степень переувлажнения и засоление почв устанавливаются по данным, приведенным в таблице 5 для растений-индикаторов на основании изучения внутренней структуры растительности в очаге переувлажнения. Учитывается и соотношение площадей, занятых каждым из видов-индикаторов по годам (рис. 5). Данные представляются в виде таблицы (табл. 6).

Оценка режима переувлажнения проводится на основании изучения глубины трансформации почв участков локального переувлажнения. Выделены (Назаренко, 2002) три категории переувлажнения: *эпизодический, регулярно-пульсирующий, постоянный*. При этом использовали следующие диагностические признаки:

- к категории эпизодического гидроморфизма, проявляющегося в экстремально влажные годы, отнесены очаги, сформированные при залегании грунтовых вод на глубине до 3 м от поверхности и при отсутствии каких-либо морфологических признаков гидроморфизма (охристых пленок, солевых и гипсовых горизонтов) в почвенном профиле; их внутренняя структура однородная, упрощенная;

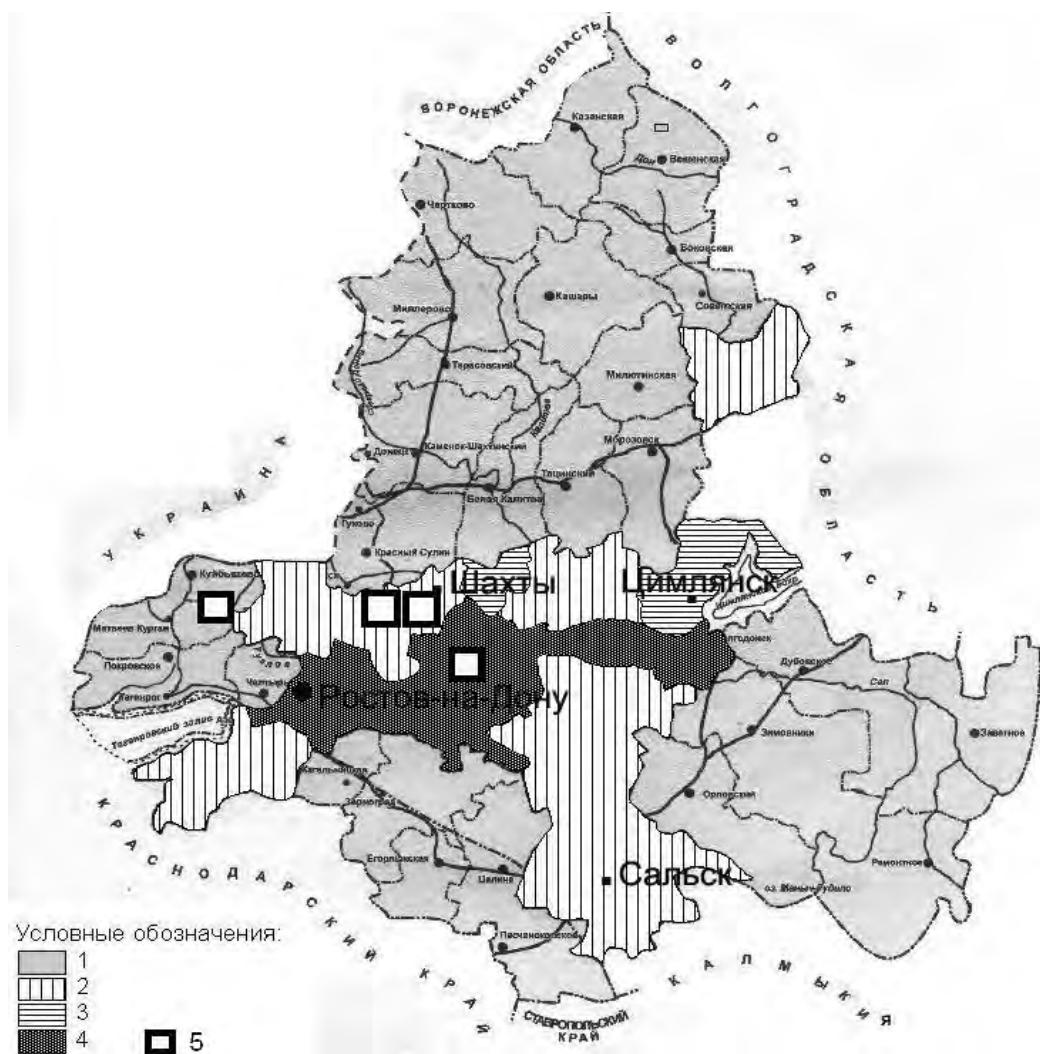


Рис. 4. Картосхема переувлажненных земель Ростовской области (Волкова, Назаренко, 2005). Условные обозначения. Доля переувлажненных площадей: 1 – от 0 до 5.0%, 2 – от 5.1 до 10.0%, 3 – от 10.1 до 15.0%, 4 – больше 15%, 5 – участки исследований.

- к категории регулярно пульсирующего гидроморфизма отнесены участки, характеризующиеся большой мощностью гумусового горизонта (но не более 100 см) и наличием признаков гидроморфизма в почвенном профиле; при этом чернозем обыкновенный переходит в подтип луговато-черноземных, лугово-черноземных и даже черноземно-луговых почв с различным проявлением в профиле оксидов железа, засоленности, карбонатности, загипсованности или намытости, техногенной глыбистости; по внутренней структуре эти участки сложно устроены, часто полночленны;

- к категории постоянного гидроморфизма отнесены участки, с исходно полугидроморфными почвами, на которых произошел переход луговато-черноземных в лугово-черноземные, что проявляется в усилении признаков оглеения (в виде сизоватых тонов и железисто-марганцевых конкреций бобовинок или точек) в нижней части профиля; лугово-черноземных – в луговые и влажнолуговые почвы; внутренняя структура таких очагов полночленная или усложненная.

Третий шаг. Длительное изучение позволило разработать типологию очагов переувлажнения, используя основные факторы их формирования: рельеф и источник переувлажнения (табл. 7).

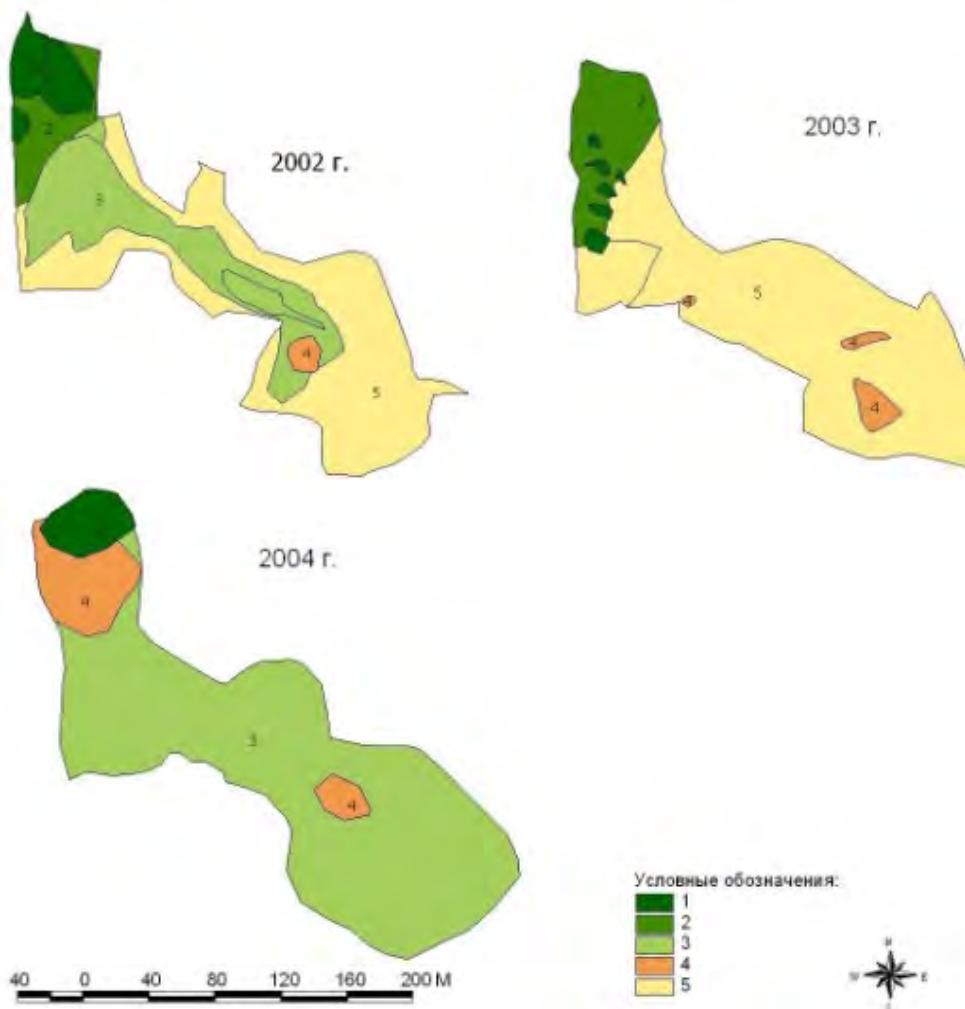


Рис. 5. Изменение пространственной структуры участка ОМ 10 по годам. Условные обозначения: 1 – сообщества *Phragmites australis*, *Bolboschoenus maritimus* – сильное переувлажнение; 2 – сообщества *Elytrigia repens* с участием галофитов – среднее переувлажнение; 3 – галофильные сообщества *Tripolium aster*, *Artemisia absinthium*, *Puccinellia distans*, – среднее переувлажнение, засоленные почвы; 4 – тростниковые сообщества по распашке этого года – переувлажнение от сильного к среднему; 5 – сорнотравье (*Triglochin palustre*, *Rumex* spp.) по распашке этого года, угнетенные посевы – слабое переувлажнение.

Используя в качестве основы данную таблицу, можно типизировать участки развития современного гидроморфизма на новой изучаемой территории на основании особенности положения в рельефе и источнике переувлажнения. Фотографии (1-3), демонстрируют основные типы очагов переувлажнения, обозначенные на рисунке 3 в соответствии с показателями и критериями таблицы 7.

Проведенные оценочные показатели участков современного гидроморфизма служат основой мониторинга явления переувлажнения в агроландшафтах на территории исследований. Из них следует, что частоту проведения дистанционных и натурных наблюдений следует согласовывать с динамикой атмосферного увлажнения.

Рекомендации по режиму наблюдений. В связи с тем, что интенсивность и площади увлажнения тесно связаны с величиной атмосферных осадков и проявляются с некоторым отставанием примерно на полгода-год, в рамках методики рекомендуется проводить ЭКОСИСТЕМЫ: ЭКОЛОГИЯ И ДИНАМИКА, 2022, том 6, № 3

наблюдения через полгода-год после превышения среднемноголетней суммы осадков более, чем на 25% или после ряда лет (3-4 года) подряд, превышающих среднемноголетнее значение несколько больше, чем на 10%.

Таблица 6. Пример оценки гидроморфизма в очагах переувлажнения.

№ пп.	Индекс очага	Растительные и почвенные индикаторы	Степень переувлажнения	Засоление почв	Режим переувлажнения
1	ОМ 1	1-5*; лугово-черноземные	Сильная – слабая	Не засоленные – сильно засоленные	Постоянный
2	ОМ 2	1; чернозем обыкновенный	Сильная	Отсутствует	Эпизодический
3	ОМ4	1-5; луговато-черноземные	Сильная – слабая	Не засоленные – сильно засоленные	Регулярно пульсирующий
4	ОМ7	4, 5; луговато-черноземные	Сильная – средняя	Не засоленные – сильно засоленные	Регулярно пульсирующий
5	ОМ 10	1-5; луговато-и лугово-черноземные	Сильная – слабая	Не засоленные – сильно засоленные	Постоянный и регулярно пульсирующий

Примечание к таблице 6: * – контуры растительности, указанные на рисунке 2.

Таблица 7. Типы участков современного гидроморфизма, выделенные по условиям их формирования (на примере Октябрьского и Куйбышевского районов Ростовской области).

Источник увлажнения	Природные комплексы современного гидроморфизма				
	на плакоре		на приводораздельном склоне		
	вершины	западины	амфитеатры	ложбины	склоны
Застаивание натечных поверхностных вод	–	2*	4	7	–
Переувлажнение почвенно-грунтовыми водами	1	3	5	8	10
Смешанное увлажнение	–	–	6	9	11

Примечание к таблице 7: * – номер типа.

Предложения к ослаблению проблемы переувлажнения. Анализ имеющегося опыта практических работ по ослаблению локального переувлажнения, показал, что к

практическому решению данной проблемы имеется два подхода. В первом случае переувлажнение рассматривается как негативное явление деградации плодородных сельскохозяйственных земель и разрабатываются мероприятия по ликвидации не процесса переувлажнения, а его следствия – локальных проявлений. В основном предлагаются инженерные решения для осушения, чаще всего в виде различных видов дренажа. Однако подобный подход не решает проблемы, а наоборот, создает ряд новых. Так, в Молдавии были предложены различные виды мелиорации (Сувак, 1977, 1986). В Восточном Донбассе в начале 80-х годов в Донском государственном аграрном университете также были разработаны под руководством профессора М.Б. Минкина с соавторами (1991) различные мероприятия инженерной мелиорации переувлажненных почв.

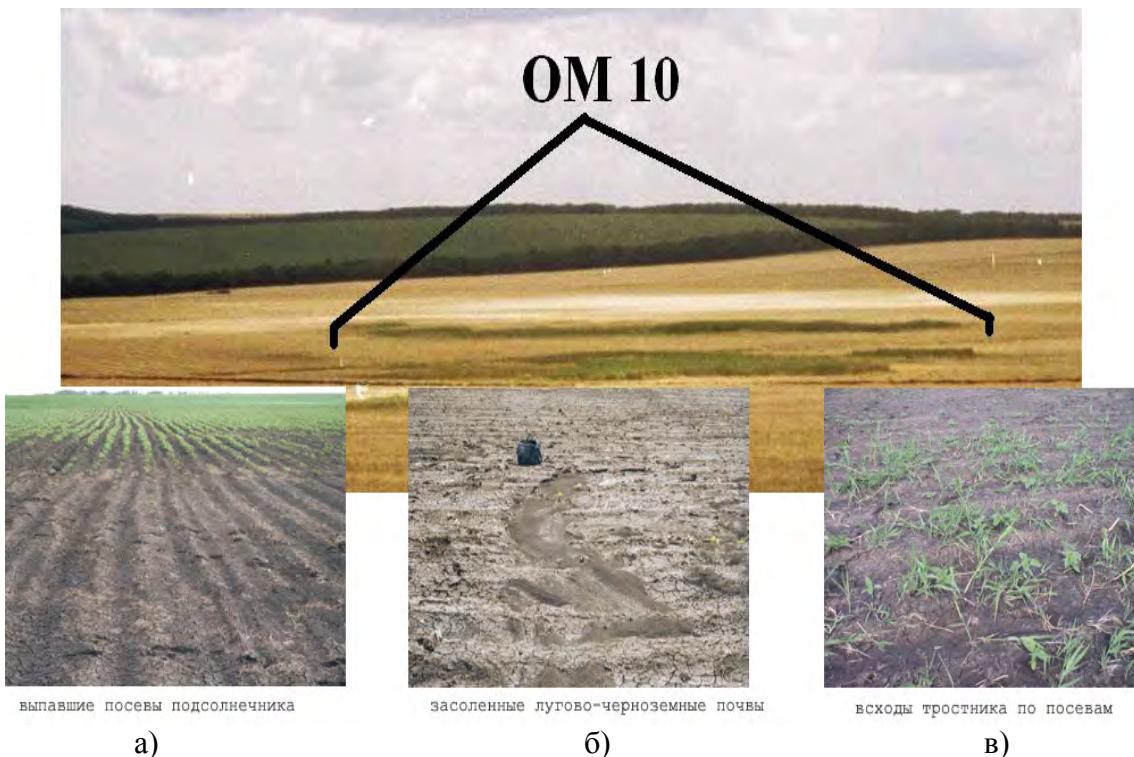


Фото 1. Западинный тип (табл. 7, тип 3), переувлажнение почвенно-грунтовыми водами (участок ОМ 10 на рис. 3; фото Н.А. Волковой). Условные обозначения: а – лишенные растительности с распашкой этого года; б – лишенные растительности со следами водной эрозии; в – с тростником по распашке этого года и выпавшими культурными растениями.

Наши предложения направлены на использование методов биологической мелиорации и конкретно – на изменение водного баланса на участках локального переувлажнения. Они включают следующие мероприятия.

1. Участки с первично встреченным проявлением гидроморфизма в виде отдельных экземпляров тростника предпочтительно не распахивать, а на территории их водосборной части изменить агротехнические приемы и севооборот, включив в него более длительное участие травосмесей.

2. Вокруг длительно существующих участков переувлажнения с проявлением всех степеней гидроморфизма желательно отодвинуть границу распахиваемой территории за пределы периодически переувлажняемых участков и зон растекания воды в весенний период для того, чтобы предотвратить скопление однолетних сорных видов на нарушенном участке.

3. На участках среднего и слабого переувлажнения для регулирования видового состава

растительных сообществ с целью исключения сорных видов-однолетников желателен подсев многолетних корневищных злаков, имеющих кормовое значение. Эти участки со временем могут использоваться в качестве сенокосов.



Фото 2. Участки, формирующиеся в амфитеатрах на приводораздельных склонах, почвенно-грунтового увлажнения (участок ОМ 7 на рис. 3, табл. 7, тип 5) и смешанного увлажнения (участок ОМ 4 на рис. 3, табл. 7, тип 6; фото Н.А. Волковой).

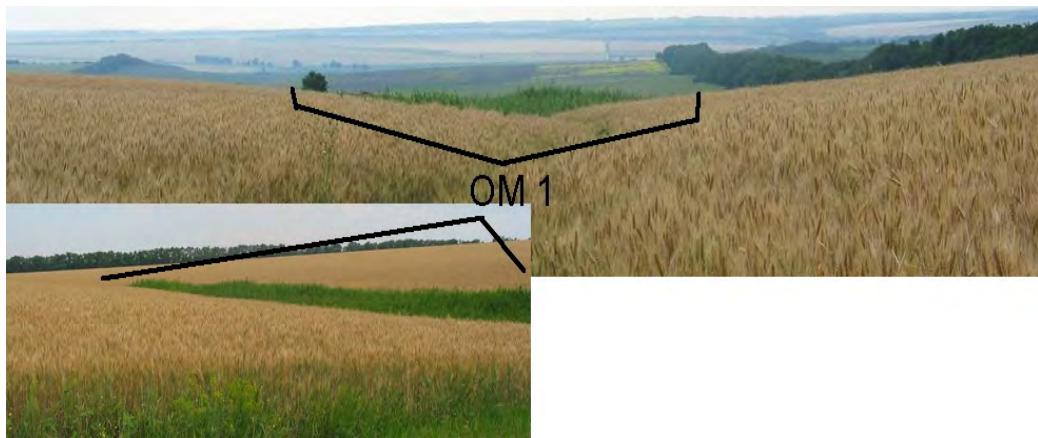


Фото 3. Участки, формирующиеся в ложбинах на приводораздельных склонах при наточном увлажнении (ОМ 1 в табл. 7, тип 7; фото Н.А. Волковой).

Выводы

1. Явление современного локального переувлажнения имеет природно-антропогенный характер. Оно развивается в особых условиях среды, которые создают предпосылки, а антропогенная деятельность способствует их реализации.

В качестве ведущих факторов формирования вторично гидроморфных природных

комплексов выступают увлажнение и засоление черноземов и лугово-черноземных почв.

2. Мониторинг развития локального переувлажнения на плакорах, при глубоком залегании грунтовых вод, направлен на выявление, установление причин, степени гидроморфизма конкретных очагов и разработку рекомендаций по его ослаблению или ликвидации.

3. Методика работ в рамках мониторинга опирается на разработанные индикаторы проявления и степени гидроморфизма – показатели состояния природных компонентов: растительности (составу, экологии видов и сообществ), динамическим характеристикам черноземов, глубине залегания грунтовых вод, почвообразующим и подстилающим породам.

4. Алгоритм работы по методике включает этапы выявления и типизации очагов переувлажнения (по выделенным показателям и критериям), рассмотрение их внутренней структуры, оценку глубины трансформации участков локального переувлажнения и их режим.

5. Разработка рекомендаций по уменьшению площади и снижению интенсивности переувлажнения или прекращению развития этого явления проводится исходя из проведенной оценки по установленным показателям – типа, внутренней структуры и глубины трансформации природных комплексов.

Следует сказать, что разработанная методика пока географически ограничена областью применения в степной зоне, но дальнейшее развитие исследований в других зонах позволит расширить ее использование.

Финансирование. Работа выполнена в рамках темы № FMWZ-2022-0002 Государственного задания ИВП РАН «Исследования геоэкологических процессов в гидрологических системах суши, формирования качества поверхностных и подземных вод, проблем управления водными ресурсами и водопользованием в условиях изменений климата и антропогенных воздействий».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1. Викторов С.В., Востокова Е.А., Вышивкин Д.Д. 1962. Введение в индикационную геоботанику. М.: Изд-во МГУ. 227 с.
2. Volkova N.A., Nazarenko O.G. 2005. Rastitel'nost' prirodno-territoriyal'nykh kompleksov sovremenного gidromorfizma na yugo-vostochnykh otrogakh Donetskogo kryazha. M.: RASKHN. 201 c.
3. Герасимов И.П. 1985. Экологические проблемы в прошлой, настоящей и будущей географии мира. М.: Наука. 247 с.
4. Елизаров Н.В., Попов В.В., Семендаев Н.В. 2020. Современный гидроморфизм солонцов лесостепной зоны Западной Сибири // Почвоведение. № 12. С. 1451-1458.
1. Viktorov SV, Vostokova EA, Vyshivkin DD. Introduction to indicator geobotany [Vvedeniye v indikatsionnuyu geobotaniku]. Moscow: Publishing House of MGU, 1962:227.
2. Volkova NA, Nazarenko OG. Vegetation of natural-territorial complexes of modern hydromorphism on the southeastern spurs of the Donetsk Ridge [Rastitel'nost' prirodno-territorial'nykh kompleksov sovremenного gidromorfizma na yugo-vostochnykh otrogakh Donetskogo kryazha]. Moscow: RASKHN, 2005:201.
3. Gerasimov IP. Environmental problems in the past, present and future geography of the world [Ekologicheskiye problemy v proshloy, nastoyashchey i budushchey geografii mira]. Moscow: Nauka, 1985:247.
4. Elizarov NV, Popov VV, Semendyaev NV. Modern hydromorphism of solonetzes in the forest-steppe zone of Western Siberia [Sovremennyj gidromorfizm solontsov lesostepnoy zony Zapadnoy Sibiri] Eurasian Soil Science [Pochvovedeniye].

- 1459.
5. Зайдельман Ф.Р., Иванов А.Л., Кащенов А.Н. 2012. Деградация богарных и орошаемых черноземов под влиянием переувлажнения и их мелиорация. М.: ООО АПР. 212 с.
 6. Кравцов Ю.В. 2009. Подъем грунтовых вод в Ишимской степи // Сибирский экологический журнал. № 2. С. 217-222.
 7. Кузьмина Ж.В. 2007. Анализ многолетних метеорологических трендов на юге России и Украины (от лесостепи до пустыни) // Аридные экосистемы. Т. 13. № 32. С. 47-61.
 8. Ландшафтная карта СССР, М 1:2500000. 1987 / Ред. И.С. Гудилин. М.: ГУГК. 1 л.
 9. Минкин М.Б., Калиниченко В.П., Назаренко О.Г. 1991. Мелиорация мочаристых почв Восточного Донбасса. М.: Изд-во МСХА. 131 с.
 10. Назаренко О.Г. 2002. Современные процессы развития локальных гидроморфных комплексов в степных агроландшафтах. Автореф. ... док. биол. наук. М.: МГУ. 46 с.
 11. Новикова Н.М., Назаренко О.Г. 2007. Современный гидроморфизм: процессы, формы, проявления, признаки // Аридные экосистемы. Т. 13. № 33-34. С. 70-82.
 12. Руководство по лабораторным методам исследованиям ..., 1990. 236 с.
 13. Сувак П.А. 1977. Мелиорация мочаристых солонцовых почв Молдавии. Кишинев: Картия Молдовеняскэ. 105 с.
 14. Сувак П.А. 1986. Окультуривание почв гидроморфных и автоморфных солонцово-солончаковых комплексов при интенсивном земледелии Молдавии. Кишинев: Штиинца. 2020;12:1451-1459.
 5. Zaidelman FR, Ivanov AL, Kashtanov AN. Degradation of rain-fed and irrigated chernozems under the influence of waterlogging and their reclamation [Degradatsiya bogarnykh i oroshayemykh chernozemov pod vliyaniem pereuvlazhneniya i ikh melioratsiya]. Moscow: OOO APR, 2012:212.
 6. Kravtsov YuV. Groundwater rise in the Ishim Steppe [Pod"zem gruntovykh vod v Ishimskoy stepi] Siberian Ecological Journal [Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal]. 2009;2:217-222.
 7. Kuzmina ZhV. Analysis of long-term meteorological trends in the south of Russia and Ukraine (from forest-steppe to deserts) [Analiz mnogoletnikh meteorologicheskikh trendov na yuge Rossii i Ukrayny (ot lesostepi do pustyn')] Arid Ecosystems. 2007;13(32):47-61.
 8. Landscape map of the USSR, Scale 1:2500000 [Landshaftnaya karta SSSR] / ed. I.S. Goodlin. Moscow: GUGK, 1987:1.
 9. Minkin MB, Kalinichenko VP, Nazarenko OG. Reclamation of wet soils of Eastern Donbass [Melioratsiya mocharistykh pochv Vostochnogo Donbassa]. Moscow: Publishing house of MSKHA, 1991:131.
 10. Nazarenko OG. Modern processes of development of local hydromorphic complexes in steppe agrolandscapes [Sovremennyye protsessy razvitiya lokal'nykh gidromorfnikh kompleksov v stepnykh agrolandshaftakh]. PhD Thesis in Biology. Moscow: MGU, 2002:46.
 11. Novikova NM, Nazarenko OG. Modern hydromorphism: processes, forms, manifestations, signs [Sovremennyj gidromorfizm: protsessy, formy, proyavleniya, priznaki] Arid Ecosystems. 2007;13(33-34):70-82.
 12. Guide to laboratory research methods [Rukovodstvo po laboratornym metodam issledovaniyam]. 1990:236.
 13. Suvak PA. Reclamation of wet solonetzic soils of Moldova [Melioratsiya mocharistykh solontsovykh pochv Moldavii]. Chisinau: Kartya Moldovenyaskae, 1977:105.
 14. Suvak PA. Cultivation of soils of hydromorphic and automorphic solonetz-saline complexes under intensive agriculture in Moldova [Okul'turivaniye pochv gidromorfnikh i avtomorfnikh solontsovo-solonchakovych komplexov pri intensivnom zemledelii Moldavii]. Chisinau: Shtiintsa, 1986:162.

- 162 с.
15. Хитров Н.Б. 2002. Развитие переувлажнения черноземов в исходно автоморфных агроландшафтах // Доклады РАСХН. № 2. С. 31-34.
16. Хитров Н.Б., Назаренко О.Г. 2012. Распространение переувлажненных почв в исходно автоморфных агроландшафтах Ростовской области при ведении системы «сухого» земледелия // Деградация богарных и орошаемых черноземов под влиянием переувлажнения и их мелиорация. М.: ООО АПР. С. 125-166.
17. Хитров Н.Б., Чевердин Ю.И., Чижикова Н.П., Роговнева Л.В. 2013. Почвы Каменной Степи, имеющие признаки слитогенеза (вертигенеза) // Бюллетень Почвенного института. Вып. 72. С. 3-25.
18. Чевердин Ю.И., Титова Т.В., Беспалов В.А. 2019. Особенности формирования гидрологического режима сезонно переувлажненных почв Каменной Степи // Агрохимия. № 2. С. 60-73.
19. Черепанов С.К. 1995. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья. 990 с.
15. Khitrov NB. Development of waterlogging of chernozems in initially automorphic agrolandscapes [Razvitiye pereuvlazhneniya chernozemov v iskhodno avtomorfnykh agrolandshaftakh] Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences [Doklady RASKHN]. 2002;2:31-34.
16. Khitrov NB, Nazarenko OG. Distribution of waterlogged soils in the initially automorphic agrolandscapes of the Rostov region during the “dry” farming system [Rasprostraneniye pereuvlazhnennykh pochv v iskhodno avtomorfnykh agrolandshaftakh Rostovskoy oblasti pri vedenii sistemy «sukhogo» zemledeliya] Degradation of rain-fed and irrigated chernozems under the influence of waterlogging and their reclamation [Degradatsiya bogarnykh i oroshayemykh chernozemov pod vliyaniyem pereuvlazhneniya i ikh melioratsiya]. Moscow: ООО APR, 2012:125-166.
17. Khitrov NB, Cheverdin YuI, Chizhikova NP, Rogovneva LV. Soils of the Kamennaya Steppe with signs of lithogenesis (vertigenesis) [Pochvy Kamennoy Stepi, imeyushchiye priznaki slitogeneza (vertigeneza)] Bulletin of the Soil Institute. 2013;72:3-25.
18. Cheverdin YuI, Titova TV, Bespalov VA. Features of the formation of the hydrological regime of seasonally waterlogged soils of the Stone Steppe [Osobennosti formirovaniya gidrologicheskogo rezhima sezonnno pereuvlazhnennykh pochv Kamennoy Stepi] Agrochemistry. 2019;2:60-73.
19. Cherepanov SK. Vascular plants of Russia and neighboring states (within the former USSR) [Sosudistyye rasteniya Rossii i sopredel'nykh gosudarstv (v predelakh byvshego SSSR)]. Saint-Petersburg: Mir i sem'ya, 1995:990.

UDC 551.574.9

ON THE METHODOLOGY OF MONITORING OF THE LOCAL WATERLOGGING IN THE STEPPE ZONE AGROECOSYSTEMS

© 2022. N.M. Novikova*, N.A. Volkova*, O.G. Nazarenko**

*Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences
Russia, 119333, Moscow, Gubkina Str. 3. E-mail: nmnovikova@gmail.com

**State Center of Agrochemical Service "Rostovsky"
Russia, 346493, Rostov Region, Aksaysky District, Sunrise Village. E-mail: nazarenkoo@mail.ru

Received April 22, 2022. Revised August 30, 2022. Accepted September 01, 2022.

Local waterlogging of the steppe territories in the south of the European part of Russia is caused by the natural (climate fluctuation) and anthropogenic (total plowing) factors. The sizes of the transformed plots ("mochar", i.e. pools) are unstable and relatively small (up to tens of thousands of square meters), but their total area in the field crops can be up to 15%, which causes undesirable changes in agroecosystems, such as crop loss and weeds distribution. A long-term study of mochar and the data on the reliability of a close relations between periods of exceeding values of the average annual precipitation, increasing area and intensity the nidus of local waterlogging, and distribution of hydro-halophilic plants (*Phragmites australis*, *Elytrigia repens*, *Tripolium aster*) according to the salinity level and soil moisture reserves, allowed us to develop a system of indicators and criteria for the methodology on the monitoring of the development of this phenomenon in a specific territory. We suggest an algorithm, which includes identification of the areas, subject to local waterlogging, and study and evaluation of the natural complexes transformation within each area. The impact assessment is based on a system of biological and ecological criteria that indicate the hydrogenic transformation of the environment and the biota of agroecosystemsm such as groundwater, soil and vegetation. Combined, they make it possible to assess the degree and depth of the changes, to give recommendations for reducing or even ceasing the negative waterlogging processes, while forecasting the climatic trends. The novelty of this study is the aforementioned system of indicators and criteria, and the algorithm of monitoring based on our methodology.

Keywords: nidus of local waterlogging, indicators, plant species, soil subtypes, indicator, criterion, salinization, moisture reserves, hydro-halophilic vegetation, Rostov Region.

Funding. This work was carried out within the theme No. FMWZ-2022-0002 of the State Assignment of the Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences "Stydy of Geoecological Processes in Hydrological Land Systems, Quality Formation of Surface and Ground Waters, Problems of Water Resources Management and Use under Climate Change and Anthropogenic Impacts".

DOI: 10.24412/2542-2006-2022-3-48-67

EDN: HIMMRB

—METHODS FOR STUDY, MAINTENANCE AND PRESERVATION OF ECOSYSTEMS—
AND THEIR COMPONENTS

UDC 551.574.9

ON THE METHODOLOGY OF MONITORING OF THE LOCAL WATERLOGGING
IN THE STEPPE ZONE AGROECOSYSTEMS

© 2022. N.M. Novikova*, N.A. Volkova*, O.G. Nazarenko**

*Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences
Russia, 119333, Moscow, Gubkina Str. 3. E-mail: nmnovikova@gmail.com

**State Center of Agrochemical Service "Rostovsky"
Russia, 346493, Rostov Region, Aksaysky District, Rassvet Village. E-mail: nazarenkoo@mail.ru

Received April 22, 2022. Revised August 30, 2022. Accepted September 01, 2022.

The local waterlogging in the south steppes of the European part of Russia is caused by the natural (climate fluctuation) and anthropogenic (total plowing) factors. The sizes of the transformed plots ("mochar", i.e. pools) are unstable and relatively small (up to tens of thousands of square meters), but their total area in the field crops can be up to 15%, which causes undesirable changes in agroecosystems, such as crop loss and weeds distribution. A long-term study of mochar and the data on the reliability of a close relations between periods of exceeding values of the average annual precipitation, increasing area and intensity the nidus of local waterlogging, and distribution of hydrohalophilic plants (*Phragmites australis*, *Elytrigia repens*, *Tripolium aster*) according to the salinity level and soil moisture reserves, allowed us to develop a system of indicators and criteria for the methodology on the monitoring of the development of this phenomenon in a specific territory.

We suggest an algorithm, which includes identification of the areas, subject to local waterlogging, and study and evaluation of the natural complexes transformation within each area. The impact assessment is based on a system of biological and ecological criteria that indicate the hydrogenic transformation of the environment and the biota of agroecosystems such as groundwater, soil and vegetation. Combined, they make it possible to assess the degree and depth of the changes, to give recommendations for reducing or even ceasing the negative waterlogging processes, while forecasting the climatic trends. The novelty of this study is the aforementioned system of indicators and criteria, and the algorithm of monitoring based on our methodology.

Keywords: nidus of local waterlogging, indicators, plant species, soil subtypes, criteria, salinization, moisture reserves, water regime, hydro-halophilic vegetation, Rostov Region.

DOI: 10.24412/2542-2006-2022-3-68-86

EDN: HSZJZB

A moisture shortage during certain seasons, determined by the climate, is common for the natural regime of ecosystems in the forest-steppe and steppe zones, usually occurring in the summer or spring-summer. This is the reason for the groundwater level on the plains of said zones to reach down to 3-6 m only, without any participation in the soil-forming processes. Since the middle of the XX century and in the early XXI century, precipitation and winter temperatures have increased in the forest-steppe and steppe zones of Russia, which indicates the development of humid warming trend, a result of global climate warming (Kuzmina, 2007).

Due to the large-scale plowing performed on the watersheds, the replacement of natural ecosystems with agroecosystems, agricultural practices that aim at storing soil moisture, climate change and ecological destabilization of these natural zones contributed to an increase in moisture supply and changed the water regime of automorphic and hydromorphic landscapes. Many regions of Russia are dealing with flooding and soils salinization due to the rising level of groundwater in some areas. This problem is very relevant, since it reduces the efficiency of agricultural activities in the fields of automorphic landscapes with fertile chernozem soils, due to waterlogging of soils,

followed by salinization and bogging, and also due to the refugia of quarantine weeds and ruderal species forming in agroecosystems.

The phenomenon of hydrogenous transformation of the structure, functions and composition of agroecosystems is known as «neohydromorphism» (Novikova, Nazarenko, 2007). It is common for the European and Asian parts of Russia. During the continuous studies that have been carried out in the forest-steppe and steppe zones since the middle of the XX century, a lot of data have been accumulated on the conditions and causes that lead to formation of niduses of local waterlogging, causing an impact on the components of ecosystems. They are covered well in scientific publications, including information on the structural and functional organization, cause-and-effect relationships of the components of hydromorphic ecosystems, and their impact on adjacent agroecosystems (Volkova, Nazarenko, 2005; Elizarov et al., 2020; Zaidelman et al., 2012; Kravtsov, 2009; Nazarenko, 2002; Novikova, Nazarenko, 2007; Khitrov, 2002; Khitrov, Nazarenko, 2012; Khitrov et al., 2013; Cheverdin et al., 2019).

Monitoring is the main method to control the state of the environment. Its general schemes and scientific foundations were laid by academician I.P. Gerasimov (1985), who believed that geosystemic or natural-economic monitoring should follow and complement bioecological monitoring that controls the health of the population. One of the important tasks of geosystem monitoring is to control and track the environmental resources used in agriculture. In our opinion, the monitoring of the modern hydromorphism development is of an ecosystem kind. It is quite specific due to the fact that it is used to control the development of the local processes and phenomena, while observational data make it possible to solve regional tasks concerning nature protection.

We present the development of a methodology for neohydromorphism monitoring carried out in the peculiar landscapes of the southeastern spurs of the Donetsk Ridge (Fig. 1) in the Rostov Region as an example. This methodology aims to identify the niduses of waterlogging, to track and assess the intensity of manifestation and the area of hydrogenously transformed areas on the basis of qualitative and quantitative indication features of ecosystem components. One of the most necessary parts of monitoring is to develop a correct solution for eliminating or weakening the development of the negative phenomenon and for further forecasting.

The purpose of this article is to highlight the main steps of our methodology and demonstrate its main solutions to assess the disturbances in agroecosystems both for the ecosystem in general and for its individual biotic and abiotic components; as well to identify dynamic trends, predict the further development and give recommendations.

Theoretical Justification of the Methodology

Modern hydromorphism monitoring is based on the study of specific niduses where hydromorphism manifests itself. Thus, it is the main approach of the work when it is carried out according to our methodology. For years the ground-based observations of ecosystem components have been made at the stationary key plots out, with the usage of remote sensing data, in order to justify the methodology theoretically. We used GIS-technology to systemize the data. To develop diagnostic and evaluation indicators of waterlogging in 58 centers of the Oktyabrsky and Kuibyshev Districts of the Rostov Region, we studied ecological relationships between some components, such as «plant species – soil moisture reserves», «plant species – soil salinity». Our work was carried out together with the fellow researchers O.G. Nazarenko from the Don State Agrarian University and N.B. Khitrov from V.V. Dokuchaev Soil Institute.

The relief of the studied area is an elevated, slightly undulating plain. According to the «Landscape Map» that was compiled under the editorship of I.S. Gudilin (1987), the area belongs to the plain subboreal, moderately continental, true steppe, loess accumulative-denudation East

European landscapes of wavy and flat plains, with flattened residual interfluves, strongly, moderately and sometimes weakly dissected river valleys with asymmetric slopes of dry valleys, with depressions composed of loess-like loams on the terrigenous, intrusive and metamorphic rocks, with agricultural lands, with patches of forb-cereal steppes on common chernozems. The main soil-forming rocks of the studied areas are yellow-brown silty-limous heavy loams, red-brown, yellow-brown and green clays, on which the common chernozems have formed.

In addition to ordinary chernozems, foci with semi-hydromorphic and hydromorphic soils are formed in the studied areas. Groundwater in the catchments lies at a depth of 15-25 m. The mineralization of the waters is different, there are both fresh and salt waters. Salinization of waters is chloride-sulfate and sulfate-chloride.

In addition to chernozems, the niduses of semihydromorphic and hydromorphic soils have formed there. The groundwater in the catchment areas reach down to 15-25 meters, with both the fresh and salty types of mineralization. Water salinity is chloride-sulfate and sulfate-chloride.

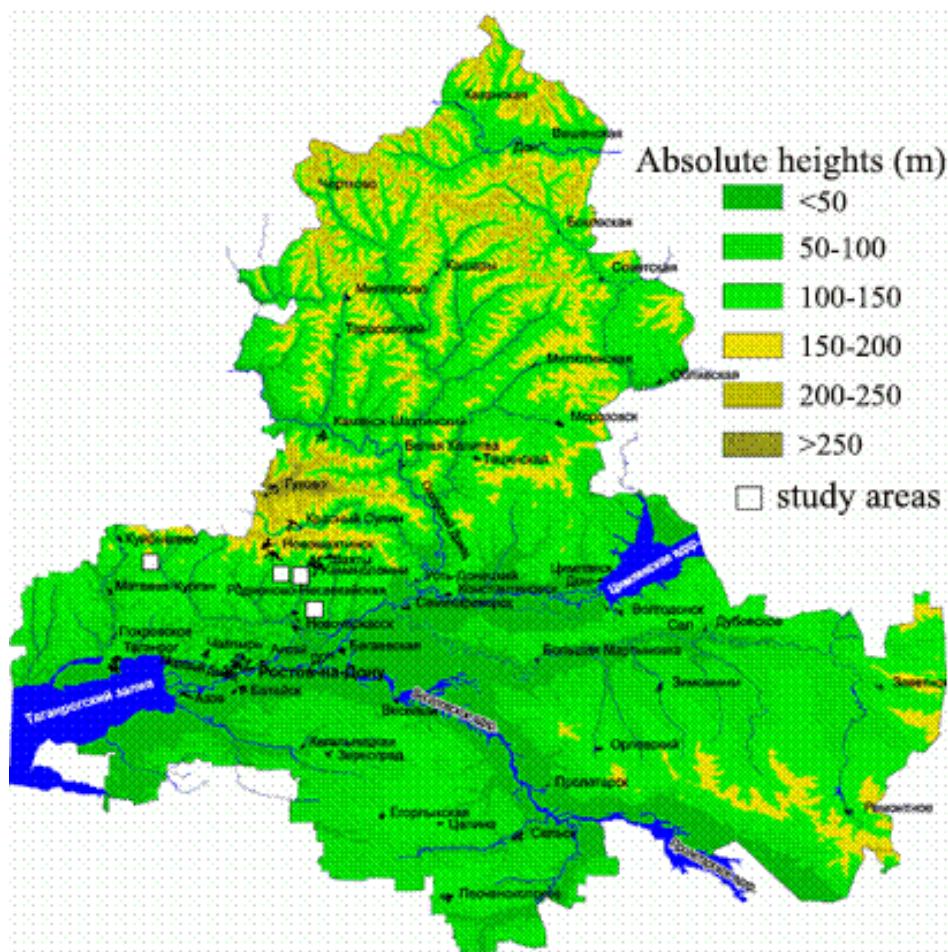


Fig. 1. Studied area in the territory of the Rostov Region (Volkova, Nazarenko, 2005).

The territory is fully developed, with its largest part being the arable land (60%) that is used mainly for grains and oilseeds. Hayfields and pastures occupy 20%; a significant part is covered with fallows (15%). The remaining areas are filled with forest belts and roads.

Our studies showed that the modern hydromorphism of originally automorphic soils develops in the steppe landscapes under certain natural (climatic, geomorphological, hydrogeological) conditions that limit the natural water outflow, as well as under the anthropogenic activities that

directly and indirectly change the water flow/inflow, its distribution and migration through the landscapes. After studying the effect of these factors we will be able to understand the formation mechanism of hydromorphic conditions on the plains of the steppe zone.

Natural reasons of neohydromorphism are connected to the natural development of the territory. They include:

- structural features of the soil-ground layer: lithological heterogeneity, and an aquiclude at a depth of 2-3 m;
- geomorphological conditions for the accumulation and redistribution of surface runoff due to geomorphological structures of different levels: modern and ancient mega-, meso-, micro- and nanoreliefs;
- climatic conditions: seasonal, annual, long-term and secular cycle of meteorological indicators, such as precipitation, temperature, evaporation and radiation balance.

The most clearly showing factor is the dependence of waterlogging on atmospheric precipitation. The observations that took place in 1997-2004 on 58 sites of local waterlogging areas in the plains determined that the maximum areas were recorded at probability of precipitation $P \leq 25\%$, while the minimum was recorded at $P \geq 75\%$ (Volkova, Nazarenko, 2005).

The anthropogenic factors of intense human activities contribute to the moisture accumulation in the soil and are as follows:

- land management factors: creation of fields and dirt roads, forest reclamation activities;
- agrotechnical factors: destruction of natural plant communities, application of technologies that transform surface runoff into an internal one, non-adapted structure of sown fields, soil consolidation.

The study of waterlogged areas made it possible to establish that their structure is usually irregularly concentric, which is apparent judging by the change in the dominant plant species. A generalized scheme of the vegetation structure in the waterlogged area is shown in Figure 2. Our studies showed that for every plant contours there are different conditions of moisture regime and salinity. The relationship of species and communities with the waterlogged conditions of soils is rather close, fitting to be used as an indicator when the hydromorphism conditions in the niduses are analyzed.

1. Monocenoses with tall, up to 2-3 m reeds (*Phragmites australis*¹) are characterized by constant high moisture. The agrotechnical tillage is extremely rare there and usually is not present at all.

2. The communities of couch grass (*Elytrigia repens*) and bluejoint (*Calamagrostis dubia*) are characterized by stable average waterlogging. These areas do not get any cultivation for long periods of time. Often a quarantine ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) dominates these communities.

3. The communities of weeds (*Cirsium arvense*, *Xanthium strumarium*) are characterized by average waterlogging which tends to decrease periodically. These areas undergo the plowing from time to time.

4. The sparse plants of reeds or couch grass that grow at the plowing site of this year (Fig. 2, Profile 4) are characterized by the moisture regime that fluctuates from high to average, depending on the yearly water content.

5. The cultivated plants in the adjacent agrocenoses usually have a low vitality, often with a large number of weeds among them (Fig. 2, Profile 5) due to the fact that these areas have low waterlogging and the high soil moisture prevents them from being cultivated in the usual time. Plowing and sowing take place much later there, which is bad for the normal development of crops.

When studying the moisture reserves in the soil under each plant, it was confirmed that the plants distribution in the waterlogged areas is associated with the water factor. The differences in moisture reserves down to 0-50 cm under different communities in the waterlogging nidus are

¹ Latin species names are given according to the work of S.K. Cherepanov (1995).

weak, but significant the soil thickness is evaluated down to 200 mm. These differences remain throughout the entire growing season. As our studies showed, the periods of moisture reserves in the layer of 0-200 mm during early spring (first number) and late summer (second number), are 1000-800 mm under *Phragmites australi*, 980-820 mm under *Phragmites australis* and *Elytrigia repens*, 940-820 mm under *Elytrigia repens*, 820-650 mm under *Tripolium aster*, 800-600 mm under *Xanthium strumarium*, and 740-520 mm under *Cirsium arvense*.

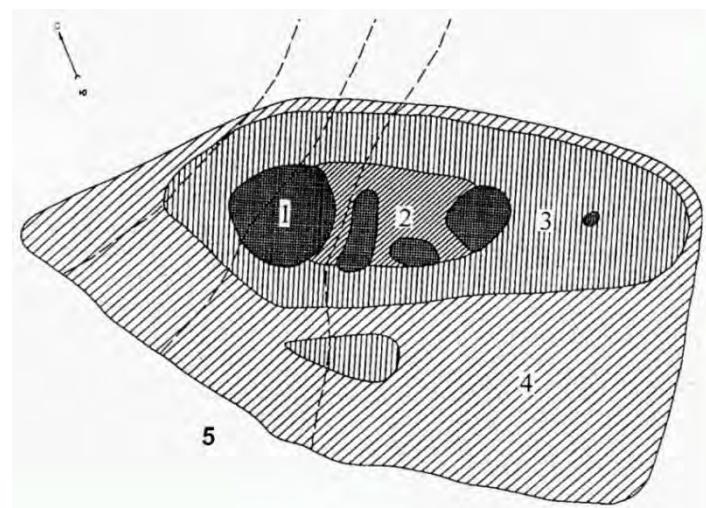


Fig. 2. Generalized scheme of the spatial structure of the waterlogged area. *Legend.* Dominant plant species: 1 – high reed (*Phragmites australis*), 2 – couch grass (*Elytrigia repens*), 3 – weeds on the site that was plowed this year (*Ambrosia artemisiifolia*, *Cirsium arvense*, *Xanthium strumarium*), 4 – low reed on the site that was plowed this year, 5 – a site with later sowing.

Groundwater in the studied waterlogged areas contains easily soluble salts, therefore the soils have a secondary salinization with the salts of sulfate, chloride-sulfate, sulfate-chloride calcium-magnesium-sodium composition. Among other things, the communities' distribution depends on the characteristics of the salt composition of soils.

In our methodology the ecological relationships between plant species and soil salinity are formalized through an assessment of the closeness of the said relationships. Based on the theoretical indication (Viktorov et al., 1962), 4 gradations of indicators can be distinguished (Table 1).

Table 1. Quantitative and qualitative indices of indicative value of plant species and communities.

No.	The number when both the indicator and the indicative object were encountered from all description sites, %	Qualitative evaluation of indicative value
1	60-74	questionable indicator
2	75-89	passable indicator
3	> 90	true indicator
4	100	absolute indicator

When we studied the closeness of the relationships between plant species, depth of the saline horizon (saline soils – 0-30 cm, deep solonchak soils – 80-150 cm) and salinity degree (dense salt residue in the highly saline soils – 0.4-0.8%, in the weakly saline soils – 0.1-0.2%) in the chosen

areas, we found indicators with different closeness between plants and salinity (Table 2). When the encounters of a certain species under certain conditions exceeded 60%, the species was considered an indicator (Tables 2, 3).

Table 2. Species of herbaceous plants associated with soil salinity (indicative value) at different depths, in %.

Plant species	Dynamic types of soils		
	Solonchak highly saline	Solonchak slightly saline	Deep solonchaks slightly saline
<i>Artemisia austriaca</i>	80		
<i>Tripolium pannonicum</i>	100		
<i>Lappula squarrosa</i>		86	
<i>Puccinellia distans</i>	60		
<i>Thlaspi arvense</i>		86	
<i>Artemisia absinthium</i>	78		
<i>Sinapis arvensis</i>			71
<i>Lactuca serriola</i>			88

Table 3. Plants species (%) associated with soil salinity degree (indicative value) in a 1-meter-depth on a key site.

Indicators (plant species)	Salinity degree		
	Non-saline common chernozems (EC < 4 dS/m)	Slightly saline common chernozems (4 < EC < 8 dS/m)	Averagely saline common chernozems (8 < EC < 12 dS/m)
<i>Tripolium pannonicum</i>			82
<i>Coronilla scorpioides</i>	60		
<i>Lactuca tatarica</i>		67	
<i>Senecio vernalis</i>	67		
<i>Cichorium intybus</i>	69		
<i>Euphorbia volvynica</i>	80		
<i>Salvia verticillata</i>	80		
<i>Sonchus arvensis</i>	82		
<i>Atriplex oblongifolia</i>			100

When the data from Tables 2 and 3 was analyzed, we concluded that *Artemisia austriaca* and *Tripolium pannonicum* can be the indicators of highly saline common chernozems (the frequencies of their encounters were 80% and 100%). *Lappula squarrosa* is an indicator of the slightly saline solonchak soils (86%), *Sinapis arvensis* – slightly saline deep solonchak soils (71.4%), *Thlaspi arvense* – slightly saline solonchak soils (86%), *Veronica agrestis* – non-saline (66.7%) and alkaline slightly saline chernozems (67%). *Lactuca serriola* is a satisfactory indicator of slightly saline deep solonchak soils. We found no close relationship between reed and chernozems salinity; only its dominance decreased due to the declining salinity in its growth places.

Indicators of averagely saline common chernozems are communities with dominant *Tripolium pannonicum* (82%) and *Atriplex oblongifolia* (100%). Steppe species such as *Coronilla scorpioides*, *Euphorbia volvynica* and *Salvia verticillata* are the satisfactory indicators of non-saline soils.

Ambrosia artemisifolia, *Convolvulus arvensis*, *Elytrigia repens*, *Lactuca tatarica*, *Lappula squarrosa*, *Melilotus officinalis*, *Thesium linifolium* and *Daucus carota* are the species with wide ecological amplitude that were found in every salinity variant with different frequency and abundance.

Hydromorphism characteristics in soils can be used as the indices of the groundwater depth (Table 4). Soil subtypes serve as an indicator.

Summarizing the data obtained during field studies for our methodology, we compiled a table of indicators of hydromorphism degree in the local areas with agrocenoses. The specific quantitative data in Table 5, such as the depth and mineralization of groundwater, nature of water regime in a biotope, signs of hydromorphism in soils and vegetation, were assessed ecologically.

Table 4. Diagnostic features of hydromorphic conditions in the different subtypes of soils (Volkova, Nazarenko, 2005).

Soil type	Soil subtype	Depth of gleization signs in a soil profile showing as bluish tones and ferruginous-manganese concretions	Soil-groundwater level, m
Chernozems	Common chernozem	No bluish tones	Different level
Meadow-chernozem	Slightly meadow-chernozem	2 meters deeper	3-4
	Meadow-chernozem	Lower part of the profile down to 2 m	2-2.5
Meadow	Chernozem-meadow	Under a humus horizon in a 50-80 cm layer	1.5-2
	Meadow	Under a humus horizon in a 50-80 cm layer	1-1.5

The Main Provisions of the Methodology

The purpose of the methodology. It was developed to standardize the monitoring of the dynamics of terrestrial ecosystems under the changes of such natural factors as the regional background climate and moisture, while using the algorithm of sequential actions. The methodology is aimed at solving the following tasks: 1) identification of the local waterlogged areas, determination of their distribution throughout the region; 2) assessment of the waterlogging degree and water regime using a system of various indicators and criteria.

Field of application. This methodology can be used for the monitoring of the ecological safety and to rationalize the land resources usage.

Sources of information. We used land management plans (scale 1:25000), soil maps of farms (scale 1:10000 and 1:25000), funds materials and official data on the territory of adjacent landscapes that were not affected by any impact. Data collection and accumulation is provided for various components of natural complexes, according to a specially developed algorithm.

The general theoretical platform of our methodology is a study of the structural-functional organization and dynamics of biotic/abiotic ecosystems components, based on the relationships in the «biocenosis indicators – water factor indicators» system.

The methodological approaches and methods used in our work are listed below.

- Materials of remote sensing for detection of waterlogged niduses.
- A methodological approach «key – experience» for comparison and evaluation of the natural complexes transformation. The areas of landscape with no waterlogging are the “key” ones, while the «experimental» ones are under the influence of waterlogging.
 - A methodological approach that considers the waterlogging nidus as a block ecotone system, which is constructed according to the increasing gradient of soil waterlogging. This makes it possible to assess the hydrological impact of waterlogging on agroecosystems, as well as its features through the characteristics of the groundwater depth and quality, soil moisture, waterlogging degree.
 - Field works and remote sensing materials for identification of the boundaries of various types of impacts.
 - The soil profiles are described, the agricultural productivity of species and communities is taken into account, and the depth of soil-groundwater, plants species composition, projective cover and abundance of species are described. Large-scale (1:1000) mapping of soils should be carried out every 3-4 years; while the mapping of vegetation using the telescopic alidade should be performed every year. The soil sampling to determine the salinization level is carried out for a number of layers: 0-10, 10-30, 30-50, 50-70, and 70-100 cm.
 - To obtain the modern data on the state of natural complexes, the methods of field ecological and geographical research are used. They include instrumental topo-ecological profiling, laying out of the transects and plots for soil and geobotanical key studies, description of the composition and vegetation structure, while taking into account aboveground phytomass and identification of the modern hydromorphism indicators. The presence of hydromorphism indicators is registered separately. All topo-ecological points should be tied to the relative elevation marks in the area, and the geoposition should be recorded at the date of the survey.
 - The assessment of hydrogenic transformation of natural complexes is based on a set of indicators of the main landscape components, such as vegetation and soils, for which the qualitative and quantitative indicators and environmental criteria for their values were developed. The evaluation criteria are the state and spatial structure of the vegetation in the hydromorphism nidus. It helps to distinguish 3 categories: *high*, *average* and *low* waterlogging degree. The areas with different degrees are used as the additional indicator.
 - The methods of mathematical statistics, used to process and analyze the data, reveal the closeness and reliability of the relationship between vegetation and the main factors, i.e. the water factor (soil moisture content) and soil salinity.
 - For easy storage and handling the experimental data are compiled into thematic tables in EXCEL. Other programs are used for processing and analysis as well: ECOL, STATISTICA, SPSS, ARCVIEW.
 - Salinity of soils and parent rocks is estimated using a brief description of their chi-ion-salt composition (Guidelines ..., 1990). We used an ion meter “Ecotest pH-120”, an ion-selective electrode pNa made by “Econix”, and an Ag/AgCl electrode “EVL-1M3”. We estimated the spatial salts distribution at key plots by measuring the activity of sodium ions in the pastes of many samples. Up to 95% of the roots of most of the species that were found on the plot are located in the 0-50 cm layer, therefore we studied the salinity indicators mainly in the said layer.
 - Sampling for soil moisture is carried out at the dynamic sites of the key plots throughout the entire year: one time every two weeks during the warm season, one time per month during the cold season. Samples are taken in three replications from the 10-cm-deep soil layers down to where groundwater starts.

The algorithm of work, according to our methodology, is given here using the specific examples of 58 waterlogging niduses in the steppe zone of the Rostov Region, in the south of the European

part of Russia. The algorithm includes several stages that should solve the main tasks of monitoring.

Table 5. Indicators of the local hydromorphism manifestation degree and their ecological significance.

No.	Indicators	Ecological significance (criteria)
1	Flooding, duration and frequency, days	Weak – from 10 to 15 days, non-annual. Average – 16-40 days, annual. High – over 40 days, annual.
2	Groundwater, depth, m	Found in a soil profile – down to 3 m from the surface.
3	Groundwater, flooding, m	High – 0.3-1 m. Average – 1.25 m. Weak – from 2.5 to 5 (6) m.
4	In a soil profile	<ul style="list-style-type: none"> • Increased depth of a humus horizon (A+AB) of the slightly meadow-chernozem and meadow-chernozem soils below 130 cm, of the wet-meadow soils below 100 cm. • Intense black color of the upper humus layer. • Occurrence of the horizons with developed signs of modern redox reactions that shows as hydroxide membranes of iron (ocherous spots), bluish tones, manganiferous growths (beans) down to 1 and 2 m, which is a weak manifestation of a meadow process; active meadow process under the humus horizon in a 50-80 cm layer. • Deep gleization that shows as bluish spots, peculiar carbonate profile (lime nodules, washed carbonates down to 100 cm); peculiar saline profile when the water is saline. • For the steppe zone it is the depth of primary and secondary gypsum (pencil gypsum) that indicates the rising level of the capillary fringe of groundwater, and carbonate mold or blurry yellow spots of loess with lime nodules (CaCO_3). • Loess with lime nodules is a sign of the modern hydromorphism. • Depth of the secondary fine gypsum is an indicator of the level of the capillary fringe or groundwater and the temporary water.
5	In vegetation	<p>Dominance or occurrence of the indicator species</p> <ul style="list-style-type: none"> • of waterlogging: high – <i>Phragmites australis</i>, average – <i>Elytrigia repens</i>, weak – <i>Cirsium arvense</i>; • of soil salinity; dominance or occurrence with 70-100% confidence: high (sum of the salts is 1-2%) down to 0-30 cm – <i>Tripolium aster</i>, <i>Artemisia austriaca</i>, <i>Artemisia absinthium</i>, <i>Puccinellia distans</i>; weak shallow (0.5-0.25%) down to 0-30 cm – <i>Lappula squarrosa</i>, <i>Thlaspi arvense</i>; weak deep (0.5-0.25%) down to 80-150 cm – <i>Sinapis arvense</i>, <i>Lactuca serriola</i>.

The first stage reveals the distribution of waterlogging niduses throughout the study area. For that the materials of remote sensing are used with their resolution of 30 m and higher. They

clearly show the darker phototone and various geometric outlines of the waterlogged patches on a monotonous background of agrolandscapes (Fig. 3). Remote sensing makes it possible to survey territories of various sizes, from a field to a district or even a region, and to identify the scale of waterlogging.

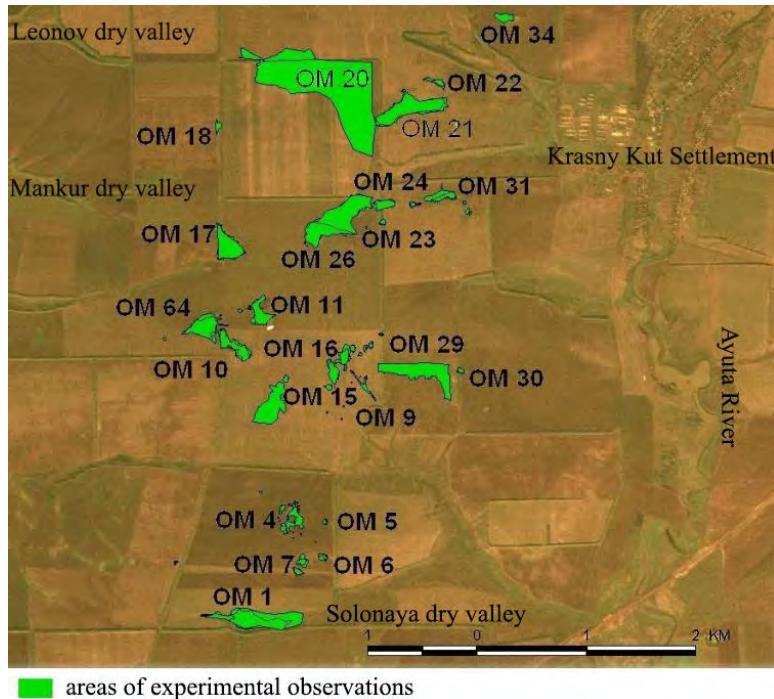


Fig. 3. Waterlogged areas in agrocenoses in the territory of the state farm «Russia», Oktyabrsky District, Rostov Region.

The results are made into maps, showing the share of the waterlogged areas as a percentage of the administrative unit area they were found in (Fig. 4).

The second stage evaluates the waterlogging degree and regime of each nidus. The direct sources of waterlogging are determined. The degree assessment is based on the internal structure of each nidus that was explored during the field studies, with the usage of remote sensing materials. Vegetation is the most obvious indicator of waterlogging, because it characterizes the current environmental state. Soils are a more conservative ecosystems component, and so they characterize the long-term changes, especially the moisture regime.

The waterlogging degree and soils salinity are determined according to the data given in Table 5 for indicator plants based on the internal structure of vegetation in the waterlogging nidus. The yearly ratio of areas occupied by each of the indicator species is also taken into account (Fig. 5). The data is presented in the form of a table (Table 6).

Assessment of the waterlogging regime is based on exploring the depth of soil transformation in the areas of local waterlogging. There are 3 categories of waterlogging: *episodic*, *regularly pulsating* and *permanent* (Nazarenko, 2002). We used the following diagnostic features:

- the *episodic* hydromorphism, which shows up during the extremely wet years, includes niduses that have formed where the groundwater is located down to 3 m, in the absence of any morphological signs of hydromorphism in the soil profile, such as ocherous membranes, salt and gypsum horizons; their internal structure is homogeneous and simple;

- the *regularly pulsating* hydromorphism includes areas with very deep humus horizons (down to 100 cm) and with the signs of hydromorphism in the soil profile. Additionally, the

common chernozem merges into the subtype of slightly meadow-chernozem, meadow-chernozem and even chernozem-meadow soils, with various manifestations of iron oxides, salinity, carbonate content, gypsum content or alluviums, with industrial blocks; their internal structure is complex and usually integral;

- the *permanent* hydromorphism includes areas with originally semi-hydromorphic soils, where the slightly meadow-chernozem soils transformed into meadow-chernozem soils, which can be seen by the increased gleization signs, i.e. bluish tones and ferruginous-manganese concretions or spots in the lower part of the profile; or where the meadow-chernozem soils transform into meadow and wet meadow soils; the internal structure is integral or complex.

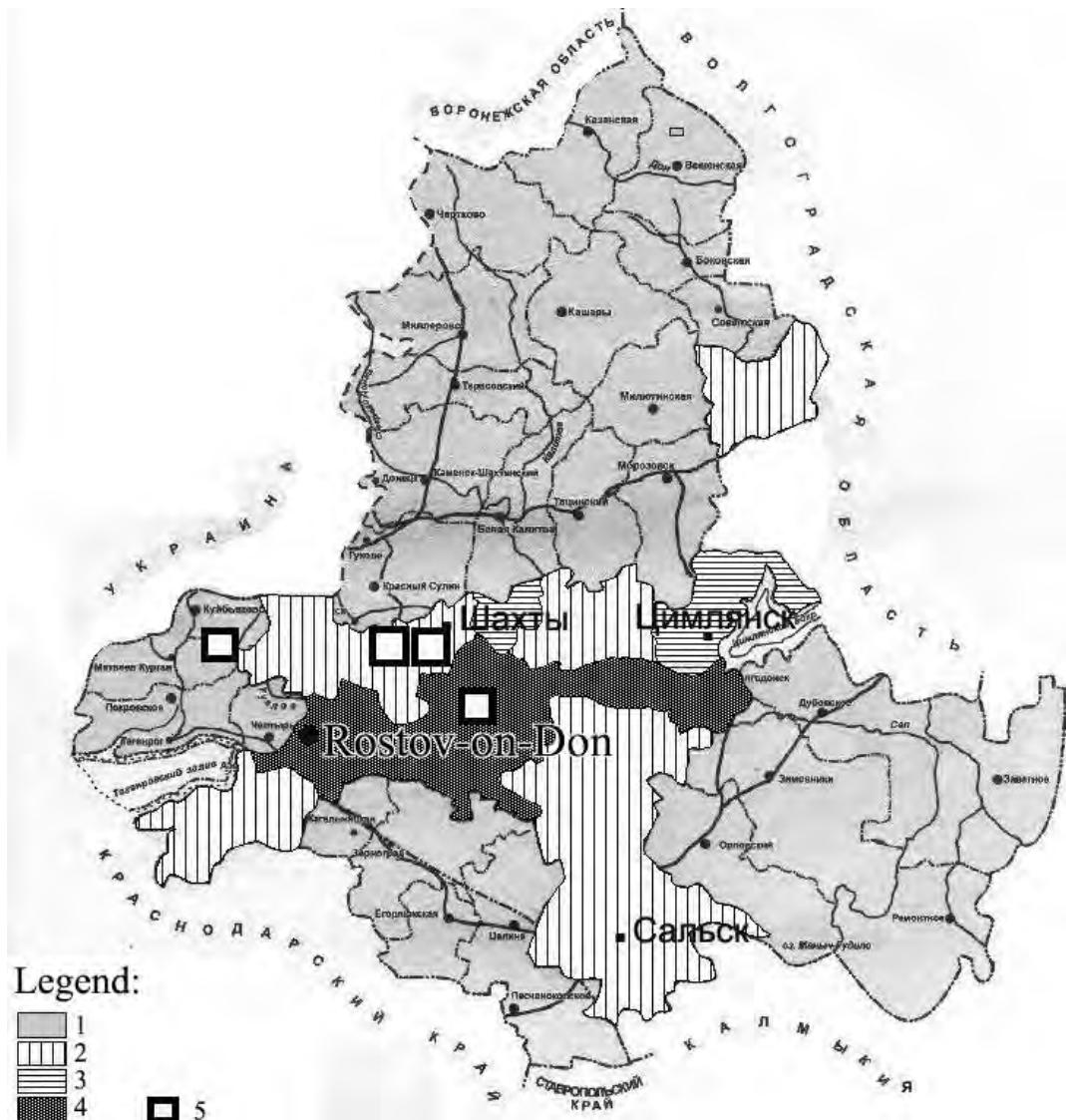


Fig. 4. Schematic map of waterlogged lands of the Rostov Region (Volkova, Nazarenko, 2005).
Legend. Share of waterlogged areas: 1 – 0 to 5.0%, 2 – 5.1 to 10.0%, 3 – 10.1 to 15.0%, 4 – > 15%, 5 – study areas.

The third stage. A long-term study allowed us to develop a typology of waterlogged areas using the main factors of their formation, such as relief and waterlogging source (Table 7).

Based on Table 7, the specific position in the relief and the source of waterlogging, the areas of

modern hydromorphism development in the study territory were classified. In the Photos 1-3 the main types of waterlogging niduses are shown, marked in Figure 3 in accordance with the indicators and criteria from Table 7.

The evaluative indicators of the modern hydromorphism areas are the basis required to monitor the waterlogging in agrolandscapes of the study area. They show that the frequency of remote and field observations should be consistent with the dynamics of atmospheric moisture.

Recommendations for further observations. Since the intensity and sizes of waterlogged areas closely depend on the amount of precipitation and manifest themselves by falling behind by 1.5-1 year, within this methodology we recommend to observe them 0.5-1 year after the sum of average long-term precipitation has exceeded by more than 25%, or after several years (3-4 years) in a row with the long-term average precipitation remaining higher by more than 10%.

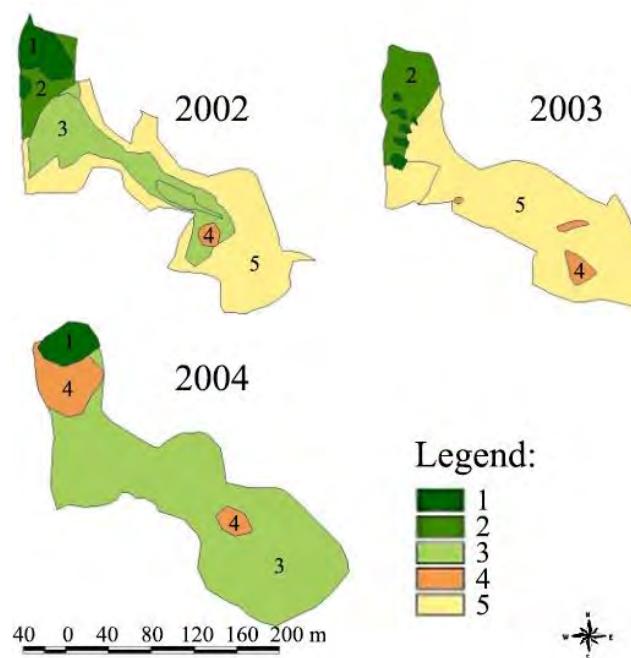


Fig. 5. Changes in the spatial structure of the OM 10 site over the years. Legend: 1 – *Phragmites australis*, *Bolboschoenus maritimus* communities – high waterlogging; 2 – *Elytrigia repens* communities with halophytes – average waterlogging; 3 – *Tripolium aster*, *Artemisia absinthium*, *Puccinellia distans* halophyte communities – average waterlogging, saline soils; 4 – reed communities along the sites plowed during this year – high to average waterlogging; 5 – weeds (*Triglochin palustre*, *Rumex* spp.) along the sites plowed during this year, suppressed crops – weak waterlogging.

Suggestions to reduce the waterlogging. After analyzing the existing experience of practical work to reduce local waterlogging, we found out that there are 2 approaches to solving this problem. In the first approach, waterlogging is considered a negative phenomenon; it is a degradation of fertile agricultural lands, and therefore measures are being developed to eliminate its consequences, i.e. its local manifestations, instead of the waterlogging. Usually those are engineering solutions, such as various types of drainage. However, this approach does not solve the problem, but rather creates new ones. For example, various types of land reclamation were proposed in Moldova (Suvak, 1977, 1986); in the Eastern Donbass in the early 1980s, the Don State Agrarian University under the guidance of Professor M.B. Minkina et al. (1991) developed various measures for engineering melioration of waterlogged lands.

Table 6. An example of hydromorphism assessment in the waterlogged areas.

No.	Index of a nidus	Plant and soils indicators	Waterlogging degree	Soil salinity	Waterlogging regime
1	OM 1	1-5*; meadow-chernozems	High – weak	Non-saline – highly saline	Constant
2	OM 2	1; common chernozem	High	Absent	Episodic
3	OM4	1-5; slightly meadow-chernozem	High – weak	Non-saline – highly saline	Regularly pulsating
4	OM7	4, 5; slightly meadow-chernozem	High – average	Non-saline – highly saline	Regularly pulsating
5	OM 10	1-5; slightly meadow and meadow chernozem	High – weak	Non-saline – highly saline	Constant and regularly pulsating

Notes to Table 6: * – vegetation boundaries, as shown in Fig. 2.

Table 7. Types of sites of modern hydromorphism that were selected according to the conditions they had formed under (on the example of the Oktyabrsky and Kuibyshev Districts of the Rostov Region).

Hydration source	Natural complexes of modern hydromorphism				
	on a plain		on a slope near a watershed		
	tops	depressions	amphitheaters	hollows	slopes
Stagnant surface water leaks	–	2*	4	7	–
Waterlogging caused by soil-groundwater	1	3	5	8	10
Mixed hydration	–	–	6	9	11

Notes to Table 7: * – number of a type.

We advise to use biological amelioration methods to change the water balance in the locally waterlogged areas. These methods include the following activities listed below.

1. It is preferable not to plow the areas with the primary signs of hydromorphism, such as the individual reeds, while in their catchment areas it is required to change agrotechnical activities and crop rotation by including grass mixtures in it for a longer period of time.

2. It is desirable to move the borders of the plowed areas over and beyond the periodically waterlogged parts and spring flooding zones around the long-existing waterlogged areas, where all degrees of hydromorphism can be found, in order for the annual weeds to not accumulate in the disturbed areas.

3. It is desirable to plant perennial rhizomatous fodder cereals in the areas with average and weak waterlogging, in order to regulate the species composition of plant communities and remove the annual weeds. In the future those areas can be used for haymaking.

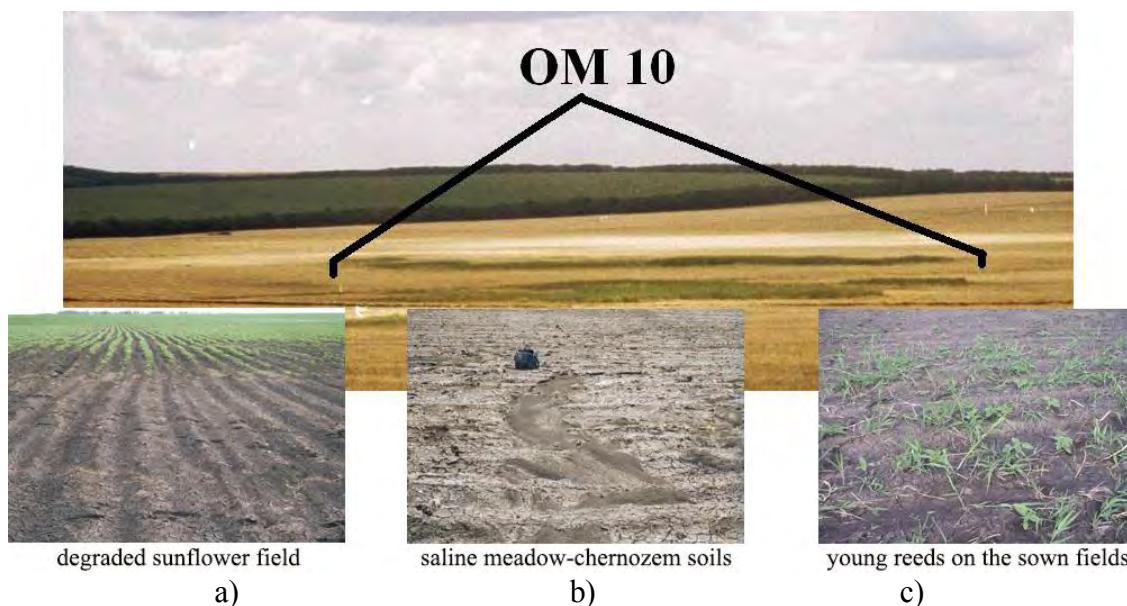


Photo 1. Sites in depressions (Table 7, type 3) with soil-groundwater waterlogging (OM 10 site from Fig. 3; photo by N.A. Volkova). *Legend:* a – absence of vegetation on a site that was plowed this year; b – absence of vegetation, traces of water erosion; c – reeds on this year's plowing site and degrading crops.



Photo 2. Sites in the amphitheaters at the slopes near watersheds with soil-groundwater waterlogging (OM 7 site from Fig. 3, Table 7, type 5) and mixed hydration (OM 4 site from Fig. 3, Table 7, type 6; photo by N.A. Volkova).

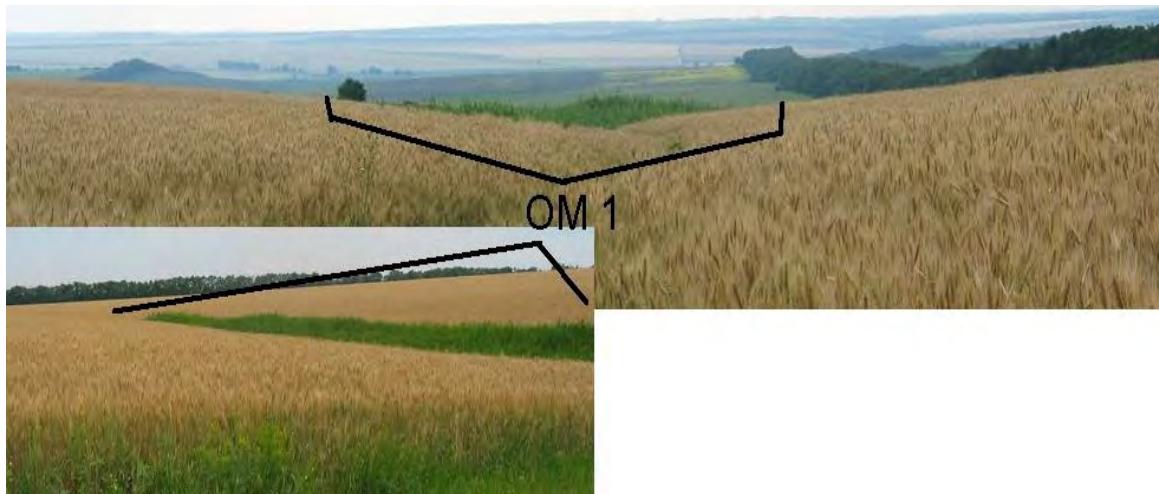


Photo 3. Sites in the hollows at the slopes near watersheds with stagnant surface water leaks (OM 1 site from Table 7, type 7; photo by N.A. Volkova).

Conclusions

1. The modern local waterlogging is of a natural-anthropogenic character, developing in specific environment that creates preconditions, while the anthropogenic activities lead to their implementation.

The leading factors in the formation of secondary hydromorphic natural complexes are humidification and salinization of chernozems and meadow-chernozem soils.

2. The monitoring the local waterlogging development on the plains with deep groundwater occurrence, is aimed at identifying, determining the causes, the degree of hydromorphism of specific foci and developing recommendations for its weakening or elimination.

Monitoring of the development of local waterlogging on the plakors, with deep groundwater occurrence, is aimed at identifying, determining the causes, the degree of hydromorphism of specific foci and developing recommendations for its weakening or elimination.

3. The monitoring methodology is based on the developed indicators of the manifestation and degree of hydromorphism. Those are the indicators of the state of natural components, such as vegetation (its composition, ecology of plant species and communities), dynamic characteristics of chernozems, groundwater depth, soil-forming and underlying rocks.

4. The algorithm of work within this methodology includes identification and standardization of the waterlogging niduses according to selected indices and criteria, consideration of their internal structure, assessment of the transformation depth of the local waterlogged areas and their regime.

5. The recommendations to decrease the waterlogging area and intensity or completely cease its development are created and based on the assessment that was carried out according to the established indicators, such as the type, internal structure and depth of transformation of natural complexes.

We should also add that this methodology is still geographically limited and can be applied for the steppe zone only. However, its further development is possible due to the studies that will take place in other zones.

Funding. This work was carried out within the theme No. FMWZ-2022-0002 of the State Assignment of the Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences “Study of Geoenvironmental Processes in Hydrological Land Systems, Quality Formation of Surface and Ground Waters, Problems of Water Resources Management and Use under Climate Change and Anthropogenic Impacts”.

REFERENCES

1. Viktorov SV, Vostokova EA, Vyshivkin DD. Introduction to indicator geobotany [Vvedeniye v indikatsionnyu geobotaniku]. Moscow: Publishing House of MGU, 1962:227.
2. Volkova NA, Nazarenko OG. Vegetation of natural-territorial complexes of modern hydromorphism on the southeastern spurs of the Donetsk Ridge [Rastitel'nost' prirodno-territorial'nykh kompleksov sovremenennogo gidromorfizma na yugo-vostochnykh otrogakh Donetskogo kryazha]. Moscow: RASKHN, 2005:201.
3. Gerasimov IP. Environmental problems in the past, present and future geography of the world [Ekologicheskiye problemy v proshloy, nastoyashchey i budushchey geografii mira]. Moscow: Nauka, 1985:247.
4. Elizarov NV, Popov VV, Semendyaev NV. Modern hydromorphism of solonetzes in the forest-steppe zone of Western Siberia [Sovremenny gidromorfizm solontsov lesostepnoy zony Zapadnoy Sibiri] Eurasian Soil Science [Pochvovedeniye]. 2020;12:1451-1459.
5. Zaidelman FR, Ivanov AL, Kashtanov AN. Degradation of rain-fed and irrigated chernozems under the influence of waterlogging and their reclamation [Degradatsiya bogarnykh i oroshayemykh chernozemov pod vliyaniyem pereuvlazhneniya i ikh melioratsiya]. Moscow: OOO APR, 2012:212.
6. Kravtsov YuV. Groundwater rise in the Ishim Steppe [Pod'yem gruntovykh vod v Ishimskoy stepi] Siberian Ecological Journal [Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal]. 2009;2:217-222.
7. Kuzmina ZhV. Analysis of long-term meteorological trends in the south of Russia and Ukraine (from forest-steppe to deserts) [Analiz mnogoletnikh meteorologicheskikh trendov na yuge Rossii i Ukrayini (ot lesostepi do pustyn')] Arid Ecosystems. 2007;13(32):47-61.
8. Landscape map of the USSR, Scale 1:2500000 [Landshaftnaya karta SSSR] / ed. I.S. Goodlin. Moscow: GUGK, 1987:1.
9. Minkin MB, Kalinichenko VP, Nazarenko OG. Reclamation of wet soils of Eastern Donbass [Melioratsiya mocharistykh pochv Vostochnogo Donbassa]. Moscow: Publishing house of

REFERENCES

1. Викторов С.В., Востокова Е.А., Вышивкин Д.Д. 1962. Введение в индикационную геоботанику. М.: Изд-во МГУ. 227 с.
2. Волкова Н.А., Назаренко О.Г. 2005. Растительность природно-территориальных комплексов современного гидроморфизма на юго-восточных отрогах Донецкого кряжа. М.: РАСХН. 201 с.
3. Герасимов И.П. 1985. Экологические проблемы в прошлой, настоящей и будущей географии мира. М.: Наука. 247 с.
4. Елизаров Н.В., Попов В.В., Семеняев Н.В. 2020. Современный гидроморфизм солонцов лесостепной зоны Западной Сибири // Почвоведение. № 12. С. 1451-1459.
5. Зайдельман Ф.Р., Иванов А.Л., Каиштанов А.Н. 2012. Деградация богарных и орошаемых черноземов под влиянием переувлажнения и их мелиорация. М.: ООО АПР. 212 с.
6. Кравцов Ю.В. 2009. Подъем грунтовых вод в Ишимской степи // Сибирский экологический журнал. № 2. С. 217-222.
7. Кузьмина Ж.В. 2007. Анализ многолетних метеорологических трендов на юге России и Украины (от лесостепи до пустынь) // Аридные экосистемы. Т. 13. № 32. С. 47-61.
8. Ландшафтная карта СССР, М 1:2500000. 1987 / Ред. И.С. Гудилин. М.: ГУГК. 1 л.
9. Минкин М.Б., Калиниченко В.П., Назаренко О.Г. 1991.

- MSKHA, 1991:131.
10. Nazarenko OG. Modern processes of development of local hydromorphic complexes in steppe agrolandscapes [Sovremennyye protsessy razvitiya lokal'nykh gidromorfnykh kompleksov v stepnykh agrolandshaftakh]. PhD Thesis in Biology. Moscow: MGU, 2002:46.
 11. Novikova NM, Nazarenko OG. Modern hydromorphism: processes, forms, manifestations, signs [Sovremennyj hidromorfizm: protsessy, formy, proyavleniya, priznaki] *Arid Ecosystems*. 2007;13(33-34):70-82.
 12. Guide to laboratory research methods [Rukovodstvo po laboratornym metodam issledovaniyam]. 1990:236.
 13. Suvak PA. Reclamation of wet solonetzic soils of Moldova [Melioratsiya mocharistykh solontsovych pochv Moldavii]. Chisinau: Kartya Moldovenyaskae, 1977:105.
 14. Suvak PA. Cultivation of soils of hydromorphic and automorphic solonetz-saline complexes under intensive agriculture in Moldova [Okul'turivaniye pochv hidromorfnykh i avtomorfnykh solontsovo-solonchakovych kompleksov pri intensivnom zemledelii Moldavii]. Chisinau: Shtiintsa, 1986:162.
 15. Khitrov NB. Development of waterlogging of chernozems in initially automorphic agrolandscapes [Razvitiye pereuvlazhneniya chernozemov v iskhodno avtomorfnykh agrolandshaftakh] *Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences [Doklady RASKHN]*. 2002;2:31-34.
 16. Khitrov NB, Nazarenko OG. Distribution of waterlogged soils in the initially automorphic agrolandscapes of the Rostov region during the "dry" farming system [Rasprostraneniye pereuvlazhnennykh pochv v iskhodno avtomorfnykh agrolandshaftakh Rostovskoy oblasti pri vedenii sistemy «sukhogo» zemledeliya] *Degradation of rain-fed and irrigated chernozems under the influence of waterlogging and their reclamation [Degradatsiya bogarnykh i oroshayemykh chernozemov pod vliyaniem pere uvlazhneniya i ikh melioratsiya]*. Moscow: OOO APR, 2012:125-166.
 17. Khitrov NB, Cheverdin YuI, Chizhikova NP, Rogovneva LV. Soils of the Kamennaya Steppe Мелиорация мочаристых почв Восточного Донбасса. М.: Изд-во MCXA. 131 с.
 10. Назаренко О.Г. 2002. Современные процессы развития локальных гидроморфных комплексов в степных агроландштафах. Автореф. ... док. биол. наук. М.: МГУ. 46 с.
 11. Новикова Н.М., Назаренко О.Г. 2007. Современный гидроморфизм: процессы, формы, проявления, признаки // Аридные экосистемы. Т. 13. № 33-34. С. 70-82.
 12. Руководство по лабораторным методам исследования ..., 1990. 236 с.
 13. Сувак П.А. 1977. Мелиорация мочаристых солонцовых почв Молдавии. Кишинев: Картия Молдовеняскэ. 105 с.
 14. Сувак П.А. 1986. Окультуривание почв гидроморфных и автоморфных солонцово-солончаковых комплексов при интенсивном земледелии Молдавии. Кишинев: Штиинца. 162 с.
 15. Хитров Н.Б. 2002. Развитие переувлажнения черноземов в исходно автоморфных агроландштафах // Доклады РАСХН. № 2. С. 31-34.
 16. Хитров Н.Б., Назаренко О.Г. 2012. Распространение переувлажненных почв в исходно автоморфных агроландштафах Ростовской области при ведении системы «сухого» земледелия // Деградация богарных и орошаемых черноземов под влиянием переувлажнения и их мелиорация. М.: ООО АПР. С. 125-166.
 17. Хитров Н.Б., Чевердин Ю.И., Чижикова Н.П., Роговнева Л.В.

- with signs of lithogenesis (vertigenesis) [Pochvy Kamennoy Stepni, imeyushchiye priznaki slitogeneza (vertigeneza)] *Bulletin of the Soil Institute*. 2013;72:3-25.
18. Cheverdin YuI, Titova TV, Bespalov VA. Features of the formation of the hydrological regime of seasonally waterlogged soils of the Stone Steppe [Osobennosti formirovaniya gidrologicheskogo rezhima sezonnno pereuvlazhnennykh pochv Kamennoy Stepni] *Agrochemistry*. 2019;2:60-73.
19. Cherepanov SK. Vascular plants of Russia and neighboring states (within the former USSR) [Sosudistyye rasteniya Rossii i sopredel'nykh gosudarstv (v predelakh byvshego SSSR)]. Saint-Petersburg: Mir i sem'ya, 1995:990.
2013. Почвы Каменной Степи, имеющие признаки слитогенеза (вертигенеза) // Бюллетень Почвенного института. Вып. 72. С. 3-25.
18. Чевердин Ю.И., Титова Т.В., Беспалов В.А. 2019. Особенности формирования гидрологического режима сезонно переувлажненных почв Каменной Степи // Агрохимия. № 2. С. 60-73.
19. Черепанов С.К. 1995. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья. 990 с.

УДК 551.574.9

К МЕТОДИКЕ МОНИТОРИНГА ЛОКАЛЬНОГО ПЕРЕУВЛАЖНЕНИЯ АГРОЭКОСИСТЕМ В СТЕПНОЙ ЗОНЕ

© 2022 г. Н.М. Новикова*, Н.А. Волкова*, О.Г. Назаренко**

*Институт водных проблем Российской академии наук

Россия, 119333, Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: ntnovikova@gmail.com

**Государственный центр агрохимической службы «Ростовский»

Россия, 346493, Ростовская обл., Аксайский р-он, пос. Рассвет. E-mail: nazarenkoo@mail.ru

Поступила в редакцию 22.04.2022. После доработки 30.08.2022. Принята к публикации 01.09.2022.

Локальное переувлажнение территорий степной зоны на юге европейской части России обусловлено природными (флуктуацией климата) и антропогенными (тотальной распашкой) факторами. Размеры трансформированных участков «мочар» нестабильны и относительно невелики (в пределах десятков тысяч квадратных метров), но суммарная их площадь в посевах может достигать 15%, что вызывает нежелательные изменения агроэкосистем: приводит к потере урожая и становится постоянным источником расселения сорных видов. Долговременное изучение мочар и полученные данные о достоверности тесной связи периодов превышения среднегодовых сумм осадков с увеличением площади и интенсивности очагов локального переувлажнения, расселением гидро-галофильных растений (*Phragmites australis*, *Elytrigia repens*, *Tripolium aster* и др.) в зависимости от величины засоления и запасов влаги в почве позволили разработать систему показателей и критериев для методики мониторинга развития этого явления на конкретной территории. Предложен алгоритм работы, включающий этап выявления участков территории, подверженных локальному переувлажнению, и этапы изучения и оценки трансформации природных комплексов на каждом из участков. Оценка воздействия базируется на системе биологических и экологических показателей и критериев – индикаторов гидрогенной трансформации среды и биоты агроэкосистем (грунтовых вод, почв и растительности). Их совокупность дает возможность оценить степень и глубину произошедших изменений, дать рекомендации по уменьшению или прекращению развития негативных процессов переувлажнения на фоне прогноза климатических тенденций. Новизна содержания заключается в изложенной системе показателей и индикаторов, алгоритме работы по методике в рамках мониторинга.

Ключевые слова: очаг локального переувлажнения, индикаторы, виды растений, подтипы почв, показатель, критерий, засоление, запасы влаги, водный режим, Ростовская область.

Финансирование. Работа выполнена в рамках темы № FMWZ-2022-0002 Государственного задания ИВП РАН «Исследования геоэкологических процессов в гидрологических системах сушки, формирования качества поверхностных и подземных вод, проблем управления водными ресурсами и водопользованием в условиях изменений климата и антропогенных воздействий».

DOI: 10.24412/2542-2006-2022-3-68-86

EDN: HSZJZB

== МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ, ПОДДЕРЖАНИЯ И СОХРАНЕНИЯ ЭКОСИСТЕМ ==
И ИХ КОМПОНЕНТОВ

УДК 502.5/8; 502.74; 574.472; 574.91; 574.24

ПОКАЗАТЕЛИ ИЗМЕНЕНИЙ ПОПУЛЯЦИОННЫХ ГРУППИРОВОК
МЛЕКОПИТАЮЩИХ ЗОНЫ ВЛИЯНИЯ ЗЕЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА
ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ

© 2022 г. С.А. Подольский*, **, Т.А. Доманов**, Е.К. Красикова**,
Л.Ю. Левик***, К.П. Павлова**

*Институт водных проблем РАН

Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail:sergpod@mail.ru

**Зейский государственный природный заповедник

Россия, 676246, Амурская область, г. Зея, ул. Строительная, д. 71. E-mail: zzap@mail.ru

***Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Россия, 119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ, д. 1, географический факультет

E-mail: lilia-levik@yandex.ru

Поступила в редакцию 01.06.2022. После доработки 30.08.2022. Принята к публикации 01.09.2022.

На основе многолетних данных Зейского заповедника оценивается значение природных и антропогенных факторов в динамике численности популяционных группировок млекопитающих зоны влияния Зейского водохранилища. В качестве модельных видов выбраны кабарга (*Moschus moschiferus*), изюбрь (*Cervus canadensis*), сибирская косуля (*Capreolus pygargus*) и соболь (*Martes zibellina*). Выделение антропогенной составляющей популяционной динамики проводится на основе сравнительного анализа многолетних рядов «опытных» наблюдений (побережье Зейского водохранилища в пределах заповедника), «контрольных» (заповедник вне побережий) и «фоновых» (Амурская область). Предложен пошаговый алгоритм изучения млекопитающих в зоне влияния крупного гидроузла. *Первый шаг* – восстановление хронологии изменений плотности населения модельного вида и определение длительности его частичной адаптации к водохранилищу: кабарга – 30 лет, изюбрь – 25 лет, косуля – 28 лет, соболь – 20 лет. *Второй шаг* – определение ведущих природных факторов динамики численности. Для кабарги, изюбря и косули это – осадки начала вегетационного периода (май, июнь), определяющие запас зимних кормов и выживание молодняка; для соболя – динамика суммарной численности мышевидных грызунов, демонстрирующая значимую отрицательную корреляцию с циклами солнечной активности и многолетними тенденциями хода весенне-летних осадков. *Третий шаг* – установление основных факторов влияния водохранилища на динамику численности модельных видов. Для кабарги это – ухудшение защитных условий, рост смертности на побережье искусственного водоема от травм, хищников и эпизоотий; для изюбря – браконьерство и гибель от волков на льду водохранилища; для косули – нарушение путей сезонных миграций, браконьерство и рост пресса охоты хищников; для соболя – микроклиматическое влияние водохранилища, ведущее к росту заболеваемости и обеднению кормовой базы за счет снижения численности мышевидных грызунов. *Четвертый шаг* – выделение общих признаков влияния гидростроительства на млекопитающих. Для всех модельных видов в зоне влияния Зейского водохранилища отмечены повышенная длительность популяционных депрессий; пониженный уровень корреляции динамики численности с изменениями основных лимитирующих природных факторов; пониженная плотность населения; повышенная амплитуда колебаний численности. *Пятый шаг* – количественная оценка влияния водохранилища на модельные виды. В качестве показателя взята разность между средней (за период адаптации) плотностью населения на «контрольных» участках и на побережьенского водоема, выраженная

в % от «контрольного» уровня. Средние ежегодные потери составили для кабарги – 51.8%, для изюбря – 51.2%, для косули – 78.1%, для соболя – 35.4%. При условии охраны все модельные виды за 20-30 лет смогли частично адаптироваться к появлению Зейского водохранилища: популяционная динамика в целом восстановилась, но плотность населения и миграционная активность остались существенно ниже исходных.

Ключевые слова: гидростроительство, оценка влияния, модельные виды, кабарга, изюбрь, косуля, соболь, мышевидные грызуны, динамика численности, солнечная активность, осадки.

DOI: 10.24412/2542-2006-2022-3-87-103

EDN: IPQJG

В зонах влияния крупных водохранилищ меняются показатели обилия, характер популяционной динамики и пространственное распределение большинства видов зверей. При этом в популяциях, попавших под влияние гидростроительства, продолжаются естественные колебания численности, обусловленные природными явлениями и процессами. Для обоснования компенсационных мероприятий при создании крупных гидроооружений и объективной оценки экологического ущерба необходимо не только констатировать сам факт воздействия гидростроительства на наземных животных, но также выделить природную и антропогенную составляющие динамики их численности в зоне влияния водохранилища. Решение этой задачи представляет не только практический, но и научный интерес, т.к. позволяет охарактеризовать особенности реакции тех или иных видов на антропогенные воздействия и относительную устойчивость их популяционных группировок.

Обычно о влиянии гидростроительства на диких животных судят, сравнивая состояние популяций до и после создания водохранилища (Авакян, Подольский, 2002). Не отрицая целесообразность такого подхода, следует обратить внимание на то, что при отсутствии дополнительных данных могут остаться «за скобками» естественные колебания численности. В нашей работе выделение антропогенной составляющей популяционной динамики проводится на основе сравнительного анализа многолетних рядов «опытных», «контрольных» и «фоновых» наблюдений: на побережье Зейского водохранилища («опыт»), на некотором удалении от искусственного водоема («контроль») и на всей территории Амурской области («фон»).

Информационную основу настоящей работы составляют данные зимних учетов млекопитающих на территории Зейского заповедника. Для анализа выбраны 4 модельных вида: кабарга (*Moschus moschiferus*), изюбрь (*Cervus canadensis*), сибирская косуля (*Capreolus pygargus*), соболь (*Martes zibellina*). Все они обычны или многочисленны в регионе и в Зейском заповеднике, имеют важное хозяйственное значение, надежно учитываются стандартными методами не только в зоне влияния Зейского водохранилища, но и на всей территории Амурской области. К анализу также привлечены данные о суммарной численности мышевидных грызунов, составляющих основу рациона соболя.

Материалы и методы

Зейское водохранилище находится на севере Амурской области в пределах Верхнезейской низменности и Зейского ущелья. Наши исследования относятся главным образом к территории Зейского заповедника, расположенного в восточной части хребта Тукурингра и на западном берегу Зейского ущелья. В настоящей работе использованы результаты зоологических наблюдений Зейского заповедника (1964-2018 гг.), в т.ч. данные регулярных стандартизованных исследований (1982-2018 гг.), охватывающих зону влияния горной части водохранилища. Подобными рядами непрерывных зоологических наблюдений (более 35 лет) не обеспечено ни одно из других водохранилищ Сибири

и Дальнего Востока.

Показатели численности модельных видов определялись с использованием методик зимнего маршрутного учета (ЗМУ; Кузякин и др., 1990) и многодневного оклада (Русанов, 1986). При расчете зимней плотности населения зверей пересчетный коэффициент к формуле Формозова вычислялся на основе данных о встречаемости следов в пределах площадок многодневного оклада (Подольский, 1993). Общая протяженность маршрутов ЗМУ с 1986 по 2018 гг. составила около 9500 км. Учет многодневным окладом проводился на 8 площадках общей площадью около 5000 га. Ежегодно отрабатывались 3-5 площадок суммарной площадью не менее 2.5 тыс. га. Кроме того, использованы данные официальных учетов охотничьих видов зверей на территории Амурской области за 1986-2010 гг. Учеты мышевидных грызунов проводились на линиях ловушек Геро по стандартной методике (Карасева, Телицына, 1996). Проанализированы данные учетов мелких млекопитающих на 33 постоянных линиях. Общий объем отловов за период с 1982 по 2018 гг. составил около 44600 ловушко-суток. Также использованы данные гидрометеорологической станции (ГМО) «Зея» о весенне-летних осадках (май-июнь) за период с 1981 по 2017 гг. и показатели солнечной активности за тот же период (Sunspot Index ..., 2019).

Обработка материала строилась на основе сравнения динамики численности модельных видов в 1982-2018 гг.: на «опытных» участках, занимающих склоны и гребни хребтов, прилегающих к искусственному водоему; на «контрольных» участках, удаленных от водохранилища и отделенных от него прибрежными хребтами; на всей территории Амурской области, рассматриваемой как «фон». В качестве «точки отсчета» рассматривались данные, полученные до начала заполнения Зейского водохранилища – в 1963-1974 гг., когда зоологические наблюдения еще не были стандартизированы. Несмотря на это, они дают общее ретроспективное представление о состоянии популяционных группировок модельных видов: показателях численности, пространственном и биотическом распределении, интенсивности сезонных миграций.

Результаты и обсуждение

Особенности реакции модельных видов на создание Зейского водохранилища

Кабарга (*Moschus moschiferus*) – типичный обитатель горной темнохвойной тайги. На территории Зейского заповедника встречается в большинстве лесных биотопов, включая лиственничные, лиственично-березовые и дубово-черноберезовые леса. По данным опросов старожилов, в 1950-х годах кабарга часто встречалась по долинам рек Зея и Гилюй (Щетинин, 1973). Плотность населения этого вида в указанных местах могла составлять не менее 2.5-3.0 особей/1000 га. Со второй половины 1960-х годов в Зейском районе отмечалась глубокая депрессия численности кабарги, которая продолжалась до начала 1980-х гг. Наряду с естественными причинами существенную роль могло играть строительство Зейской гидроэлектростанции. Так, в недавнем прошлом резкое усиление браконьерства и разрушение местообитаний (затопление, пожары) вызвало быстрое снижение численности кабарги в районе Бурейского гидроузла: на отдельных участках поголовье за год снижалось на 30-40% (Подольский и др., 2009). Вероятно, аналогичную картину в конце 1960-х и в 1970-е гг. можно было наблюдать в районе строительства Зейского гидроузла. Ситуация усугублялась тем, что Зейское водохранилище затопило довольно значительные площади долинных ельников и прибрежных скальных отстоев, представляющих основные местообитания и защитные стации кабарги. В начале 1980-х гг. на 1000 га характерных местообитаний приходилось не более 1.2-2.5 особей (Бромлей и др., 1984).

Со второй половины 1980-х гг. начался быстрый рост численности кабарги в Зейском

заповеднике, в т.ч. и на побережье водохранилища (рис. 1). С 1996-1997 гг. на побережье началось снижение численности. Зимой 1999-2000 гг. резкое падение плотности населения отмечено по всему Зейскому заповеднику и прилегающей территории. В 1999-2001 гг. на территории заповедника найдено несколько мертвых особей без признаков повреждений. В 2000-2002 гг. плотность населения этого вида в заповеднике сократилась до минимума – 0.3-1.0 особи/1000 га. Вероятно, в этом случае массовая гибель и падение численности были связаны с эпизоотией. Однако обычно эпизоотии поражают лишь те популяции, которые находятся в критическом состоянии.

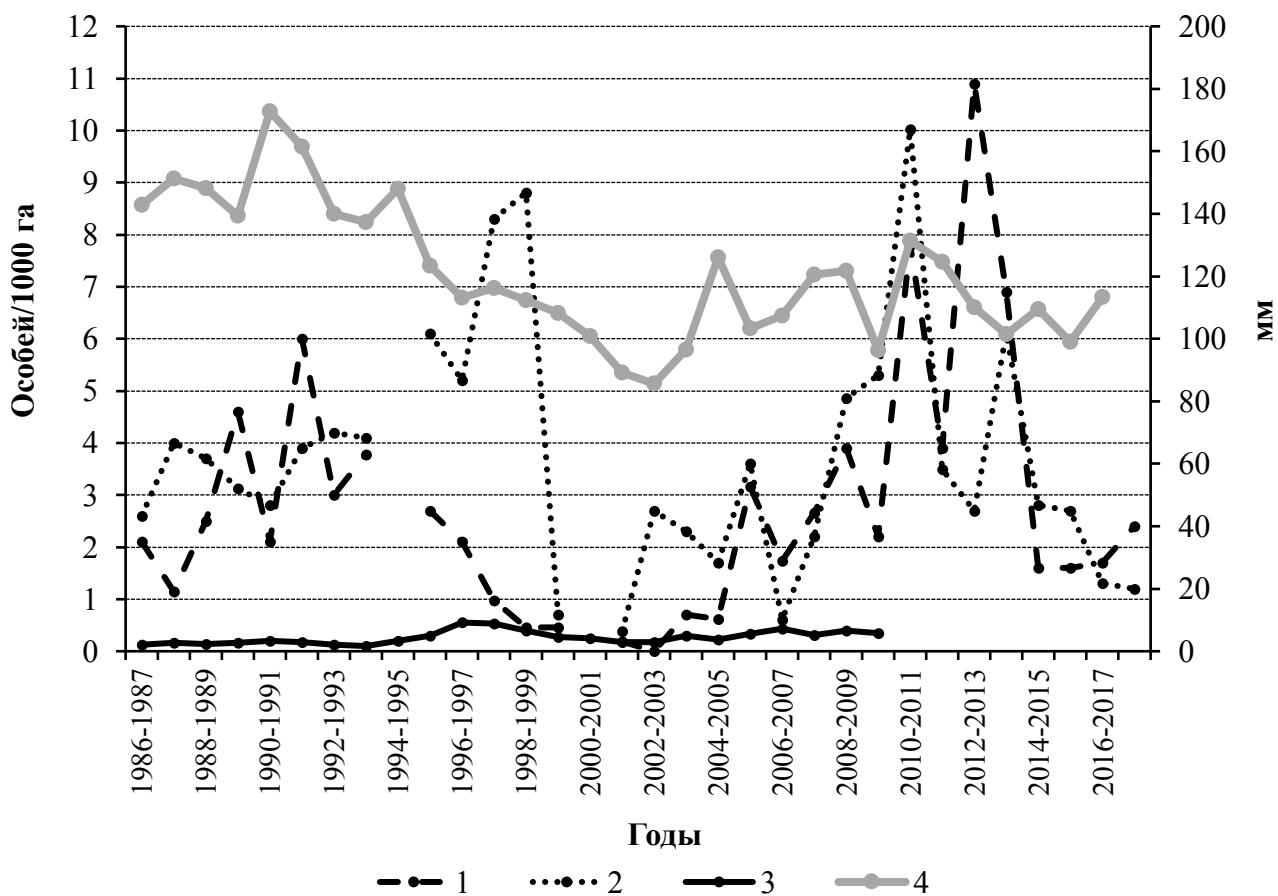


Рис. 1. Динамика плотности населения кабарги на территории Зейского заповедника и в Амурской области. Условные обозначения: 1 – побережье водохранилища («опытные» участки), 2 – вне побережий крупных водоемов и водотоков («контрольные» участки), 3 – лесные угодья Амурской области («фон»), 4 – сумма осадков мая и июня по данным Зейской ГМО, склоненная методом 5-летней скользящей средней.

Как в Зейском заповеднике, так и на всей территории Амурской области отмечались пики в 1997-1998 гг. и депрессии в 2000-2002 гг. При этом плотность населения кабарги по области снижалась значительно медленнее, не достигала минимальных показателей; не отмечалось эпизоотий. Можно предположить, что первопричины снижения численности в конце 90-х – начале 2000-х гг. на территориях Амурской области и Зейского заповедника были связаны со сходными природными факторами. Однако в условиях влияния Зейского водохранилища депрессия приобрела катастрофический характер.

Основным природным механизмом изменения численности диких копытных обычно

является смертность (или выживаемость) молодняка (Филонов, 1977), которая в значительной степени зависит от количества и доступности зимних кормов. На Дальнем Востоке и в Сибири основным кормом кабарги являются эпифитные лишайники из семейства Usneaceae. Зимой их доля в питании превышает 80%. Рост водоросли, являющейся составной частью лишайника, зависит от влажности воздуха и количества осадков. Наличие влажного субстрата способствует успеху распространения лишайников. Оптимальное соотношение этих показателей обеспечивается дождливой весной. После периодов, когда несколько лет подряд следуют влажные весны (вторая половина 1950-х гг., вторая половина 1980-х гг., середина 2000-х гг.), происходит повышение численности кабарги. И, напротив, за несколькими «сухими» веснами (начало 1970-х гг., вторая половина 1990-х гг.) следует снижение численности. «Сухой» мы считаем весну с суммой осадков мая и июня, не превышающей 120 мм.

Плотность населения кабарги вне побережий водохранилища и на всей территории заповедника в целом хорошо коррелирует с тенденцией динамики суммы осадков мая и июня за предшествующие 4-6 лет ($R = 0.45$, $p = 0.05$), полученной путем сглаживания методом 5-летней скользящей средней (рис. 1). Отмеченное запаздывание динамики численности, вероятно, связано с медленным ростом эпифитных лишайников. Таким образом, для популяции кабарги установлен основной природный фактор – весенние осадки предшествующих 4-6 лет, определяющие успех распространения эпифитных лишайников.

Побережье крупного водохранилища может выступать в качестве очага нестабильности популяции кабарги: зона повышенной частоты гибели от хищников и травм, массового браконьерства, распространения опасных инфекций (Подольский и др., 2009). В условиях влияния крупного искусственного водоема естественный ход динамики численности вида резко нарушается. Для популяционной группировки на побережье Зейского водохранилища характерны повышенная амплитуда колебаний плотности населения на стадии роста численности и затяжной характер депрессий (рис. 1). Разница по годам между максимальными и минимальными показателями численности у кабарги для «опытных» участков, расположенных на побережье водохранилища, составляет 53.7 крат (от 0.19 до 10.2 особей/1000 га); для «контрольных» участков низкогорий, удаленных от побережий, – до 22.0 крат (от 0.4 до 8.8 особей/1000 га). Следовательно, максимальная многолетняя амплитуда колебаний численности кабарги в зоне влияния водохранилища («опытная» территория) в 2.4 раза превышает таковую на «контрольной» территории. Кроме того, в зоне влияния водохранилища («опытные участки») депрессии начинались на 1-3 года раньше, а заканчивались на 1-2 года позже, чем на «контрольных» участках (рис. 1).

С 2003-2004 гг. динамика численности кабарги на побережье водохранилища («опытные» участки) в целом синхронизировалась с «контрольными» участками (Зейский заповедник вне побережий водохранилища) и по Амурской области в целом («фоновые наблюдения»; рис. 1). Это можно рассматривать как признак частичной адаптации популяции кабарги к появлению крупного искусственного водоема. Если взять за точку отсчета начало заполнения Зейского водохранилища (1974 г.), то длительность адаптации популяции к созданию Зейского водохранилища составляет около 30 лет.

Изюбрь (*Cervus canadensis*) – один из характерных представителей копытных Зейского заповедника. Постоянно обитает во всех лесных биотопах за исключением подгольцовых аянских ельников, где отмечается крайне редко. Как и у кабарги, главный фактор динамики численности – смертность (или выживаемость) молодняка, которая определяется количеством и доступностью зимних кормов. Этот показатель, в свою очередь, зависит от погодных условий начала вегетационного периода (май-июнь), когда происходит наиболее интенсивный рост побегов ивы и других древесно-кустарниковых пород, используемых

оленями в зимний период.

Кривая динамики плотности населения изюбря в заповеднике имеет определенное сходство с графиком, отражающим многолетние изменения количества весенне-летних осадков (рис. 2). Однако отмечаются и существенные различия, в максимальной степени выраженные на побережье водохранилища. До создания искусственного водоема в конце 1960-х – начале 1970-х гг. средняя плотность населения изюбря на территории заповедника оценивалась примерно в 1.3 особи/1000 га. После начала заполнения водохранилища этот показатель заметно понизился: в 1979-1980 гг. он составлял около 0.6-0.7 особи/1000 га. Это снижение можно объяснить ухудшением кормовых и защитных условий на берегах искусственного водоема, в первую очередь, – усилением пресса охоты волков, для которых выгон добычи на гладкий лед водохранилища стал основным охотниччьим приемом. Усиление охотниччьего пресса волков на побережье подтверждается многолетними данными о случаях гибели изюбрей. Доля изюбрей, погибших от волков на льду после создания водохранилища, возросла с 25 до 36% (Подольский, 2013).

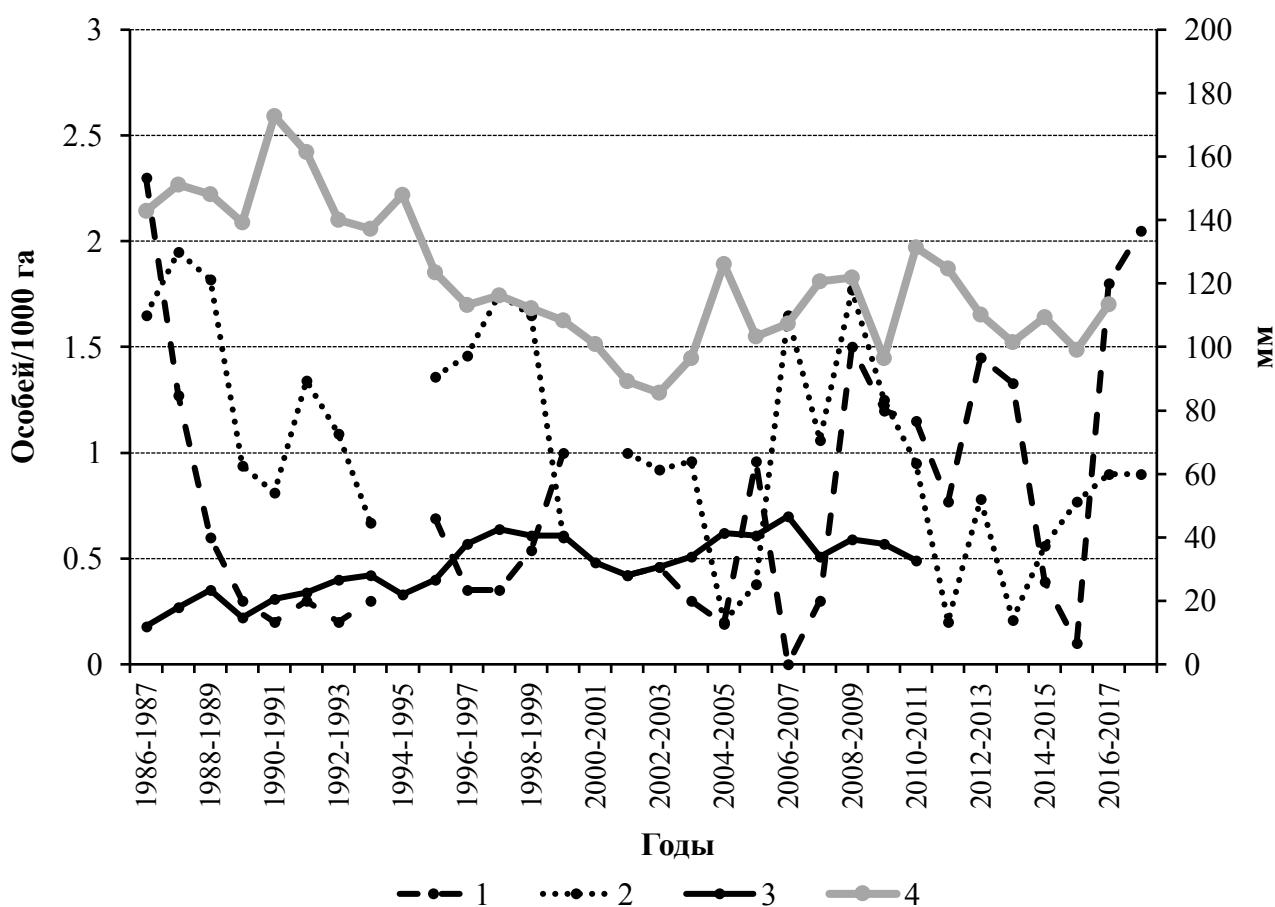


Рис. 2. Динамика плотности населения изюбря на территории Зейского заповедника и в Амурской области. Условные обозначения: 1 – побережье водохранилища («опыт»), 2 – низкогорья вне побережий крупных водоемов и водотоков («контроль»), 3 – лесные угодья Амурской области («фон»), 4 – сумма осадков мая и июня по данным Зейской ГМО, сглаженная методом 5-летней скользящей средней.

В середине-конце 1980-х гг. показатели численности изюбря вновь достигли уровня конца 1960-х гг. и даже несколько превысили его. Несколько лет после заполнения

водохранилища до нормального подпорного уровня (НПУ) динамика численности изюбря в целом была близка к естественной: на фоне повышенного атмосферного увлажнения (1984-1989 гг.) в заповеднике отмечалась стабильно высокая численность (более 100 особей) и плотность населения (1.1-1.7 особей/1000 га). В 1989-1994 гг. отмечено значительное (более чем двукратное) снижение численности примерно до 30-40 особей. Особенно резким оно было на побережье, где плотность быстро упала с 2.5-1.2 до 0.3-0.2 особей/1000 га. Это снижение противоречило ходу естественных природных процессов, т.к. оно проходило на фоне хорошо выраженного периода повышенного атмосферного увлажнения (1988-1994 гг.). Причины данного явления имели антропогенный характер: интенсивное браконьерство на побережье водохранилища. Наличие искусственного водоема облегчило использование при добывании изюбреи современных скоростных видов транспорта. Социальный кризис и ухудшение эффективности охраны заповедника в 1989-1999 гг. способствовали резкой интенсификации браконьерской добычи. Позже охрана наладилась; с 2000-2002 гг. динамика численности изюбря на побережье («опытные» участки) в целом синхронизировалась с таковой вне побережий крупных водоемов («контрольные» участки) и по Амурской области в целом («фоновые наблюдения»; рис. 2). Если взять за точку отсчета начало заполнения Зейского водохранилища (1974 г.), то *длительность частичной адаптации* популяции изюбря к созданию водохранилища составила около 25 лет.

На территории Амурской области («фон») максимальная отмеченная плотность населения (0.64 особи/1000 га – 1997-1998 гг.) в 3.2 раза выше минимальной (0.2 особи/1000 га – 1985-1986 гг.). Для «опытных» участков, расположенных на побережье водохранилища, этот показатель составляет 11.5 (от 0.2 до 2.3 особей/1000 га); для «контрольных» участков низкогорий, удаленных от побережий, – 5.1 (от 0.38 до 1.95 особей/1000 га). Таким образом, максимальная многолетняя амплитуда колебаний численности изюбря в зоне влияния водохранилища («опытная» территория) в 2.3 раза превышает таковую на «контрольной», в 3.6 раз – на «фоновой» территории.

Сибирская косуля (*Capreolus pygargus*) до создания Зейского водохранилища была одним из наиболее характерных видов южного макросклона хребта Тукуингра. Здесь, в Зейском ущелье через устье р. Гилуй, проходил магистральный путь сезонных миграций наиболее северной популяции косуль Амурской области (Щетинин, 1973). На зиму основное ее население откочевывало южнее хребтов Соктахан и Тукуингра. Весной, к периоду отела, косули возвращались на летние пастбища Верхнезейской низменности.

Основными естественными факторами, определяющими численность косуль на рассматриваемой территории, являются осадки весенне-летнего периода, глубина снежного покрова и интенсивность сезонных миграций. Количество весенне-летних осадков обуславливает запас кормов, а величина снежного покрова – интенсивность миграций и пространственное распределение в зимний период. Косуля значительно мельче изюбря и, в отличие от кабарги, не имеет специфических физиологических приспособлений к условиям глубокоснежья. Поэтому в годы с высоким снежным покровом (более 30-40 см) увеличивается миграционная активность косуль и их концентрация в малоснежных местах.

Основным антропогенным фактором, повлиявшим на косуль рассматриваемой территории, является нарушение миграционных путей вследствие создания водохранилища. По опросным данным, в период заполнения Зейского водохранилища во время сезонных миграций отмечалась массовая гибель косуль, преодолевающих формирующиеся заливы. Аналогичные случаи зарегистрированы на Бурейском водохранилище (Игнатенко и др., 2007). Кроме того, широкая часть Зейского водохранилища затопила значительную область оптимальных летних пастбищ на Верхнезейской равнине. Другим важным антропогенным фактором стало увеличение интенсивности браконьерской охоты на берегах водоема.

В 1960-е гг. плотность населения косуль на Южном макросклоне хребта Тукуингра

была очень велика – 15-17 особей/1000 га. В многоснежные годы этот показатель мог увеличиваться в 2 раза. После начала заполнения водохранилища и нарушения миграций последовала длительная глубокая депрессия косули и практически полное прекращение выраженных сезонных миграций в пределах Зейского ущелья (1975-1987 гг.). Общая численность Верхнезейской популяции снизилась на порядок – с 5 тыс. до 500-1000 особей (Дарман, Колобаев, 1993).

В 1988-1996 гг. на фоне периода повышенного количества осадков (1984-1995 гг.) в Зейском заповеднике отмечено некоторое повышение показателей численности косули и возобновление сезонных миграций. С 2002-2003 гг. Зейское ущелье вновь стало полноценным местом зимней концентрации косуль (рис. 3). Частичное восстановление сезонных миграций и пространственного распределения можно рассматривать как признаки частичной адаптации популяции к появлению водохранилища.

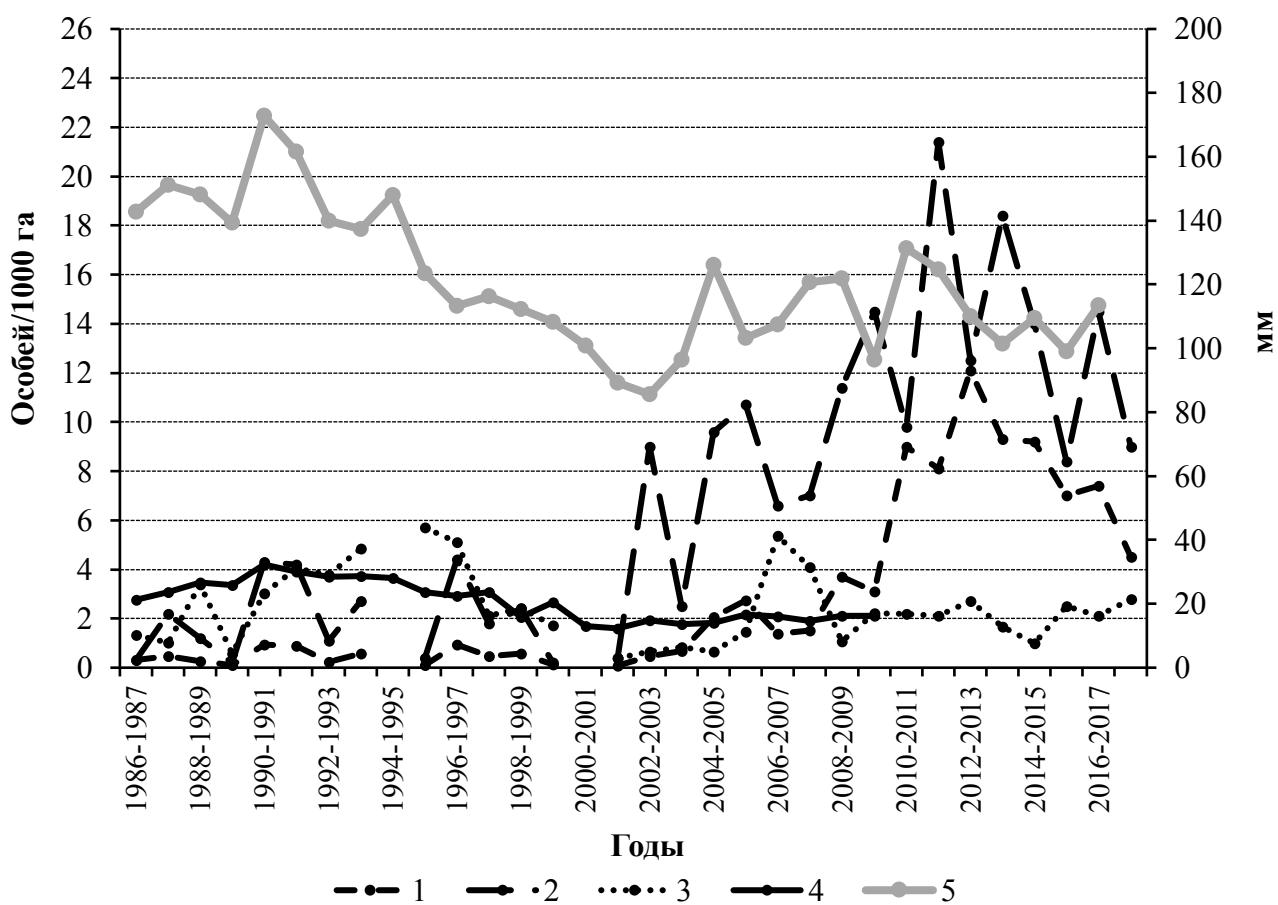


Рис. 3. Динамика плотности населения косули на территории Зейского заповедника и в Амурской области. Условные обозначения: 1 – побережье водохранилища (все «опытные» участки); 2 – Зейское ущелье (южная часть «опытных» участков); 3 – низкогорья южного склона хр. Тукуриングра вне побережий крупных водоемов и водотоков («контрольные» участки); 4 – Амурская область («фон»); 5 – сумма осадков мая и июня по данным Зейской ГМО, сглаженная методом 5-летней скользящей средней.

Если взять за точку отсчета начало заполнения Зейского водохранилища (1974 г.), то длительность частичной адаптации популяции косули к его созданию составляет 28 лет. Однако миграционная активность косуль до сих пор значительно ниже исходной.

Кроме того, мигрирующей популяционной группировке удалось восстановить лишь 30% былого ареала в пределах Верхне-Зейской равнины.

Соболь (*Martes zibellina*) был исконным обитателем горной тайги Приамурья. Перепромысел в XIX – начале XX вв. привел к тому, что в 1920-е гг. он сохранился лишь на отдельных участках, в частности, на северо-западной оконечности хребта Тукурингра. В 1934-1939 гг. добыча соболя была полностью запрещена. В конце 1940-х гг. соболь вновь освоил восточную часть хребта Тукурингра. Численность вида продолжала нарастать даже в первые годы после начала заполнения Зейского водохранилища. Зимой 1980-1981 гг. средняя плотность населения в заповеднике была максимальной – 13.7 особей/1000 га (Бромлей и др., 1984). В 1987-1999 гг. снижение численности соболя проявилось на большей части территории Амурской области, но наиболее резким и глубоким оно было на побережье Зейского водохранилища; депрессия продолжалась вплоть до 2005-2006 гг. Так, за эти годы плотность населения соболя снизилась в среднем по Амурской области – примерно в 2 раза, по «контрольным» участкам заповедника вне побережий – в 2.4 раза, на побережье Зейского водохранилища («опытные» участки) – примерно в 12 раз.

Начиная с зимнего сезона 2005-2006 гг. динамика численности соболя на побережье («опытные» участки) в целом синхронизировалась с таковой на «контрольных» участках (Зейский заповедник вне побережий) и по Амурской области («фоновые наблюдения»; рис. 4). Это можно рассматривать как признак частичной адаптации популяции к появлению крупного искусственного водоема. Если взять за точку отсчета завершение заполнения Зейского водохранилища до НПУ (1985 г.), когда стало отчетливо проявляться снижение численности соболя на его побережье, то *длительность адаптации* популяции соболя составляет *около 20 лет*.

Численность соболя на побережье водохранилища («опыт»), в восточной части хребта Тукурингра («контроль») и в Амурской области («фон») изменялась в целом синхронно (рис. 4). Это позволяет предположить, что естественные многолетние тенденции динамики численности модельного вида связаны с ведущими природными факторами, одновременно действующими на весь регион. В качестве таких факторов, в первую очередь, следует рассмотреть суммарное обилие мышевидных грызунов, составляющих основу рациона соболя, а также солнечную активность и количество весенне-летних осадков. За показатель солнечной активности принято среднегодовое общее количество солнечных пятен – число Вольфа (Sunspot Index ..., 2019).

В Зейском заповеднике наряду с краткосрочными (3-6 лет) отмечен длительный, примерно 30-летний цикл динамики численности мышевидных грызунов. При этом многолетние периоды повышенной суммарной численности мышевидных грызунов связаны с периодами минимальных значений пиков 10-летних циклов солнечной активности. Напротив, длительные депрессии численности грызунов связаны с периодами максимальных значений чисел Вольфа (рис. 5).

Установлена значимая отрицательная корреляция обилия мышевидных грызунов с многолетними тенденциями изменений солнечной активности ($r = -0.5$, $p = 0.01$) и количества весенне-летних осадков ($r = -0.36$, $p = 0.05$) сглаженных с помощью 11-летней скользящей средней (табл. 1). Для Амурской области характерна прямая зависимость многолетних циклов увлажнения от динамики солнечной активности (Парилов и др., 2006). Интенсивные осадки в мае-июне обычно препятствуют успеху размножения грызунов, что отражается на тенденциях динамики численности соболя.

На берегах крупного искусственного водоема депрессия была наиболее глубокой и длительной (рис. 4). Причиной, резко усугубившей проявление региональной депрессии численности соболя на побережье Зейского водохранилища, может быть микроклиматическое влияние крупного искусственного водоема. Весной и в начале лета

поздно освобождающееся ото льда и медленно прогревающиеся водохранилище оказывает существенное охлаждающее воздействие на прилегающие территории (Дьяконов, 1992). Увеличение влажности воздуха, снижение среднемесячных температур в весенне-летний период и сдвиг фенофаз привели к ухудшению условий размножения грызунов, длительному снижению их численности и обеднению кормовой базы соболя на склонах побережья водохранилища (Подольский и др., 2009). Кроме того, установлено, что те же факторы (увеличение влажности воздуха и понижение среднемесячных весенних температур) вызывают повышенную смертность сеголетков (Астафьев, 1988). С увеличением влажности в летние месяцы возрастает частота заболевания соболей дерматитом (Лобанов, 1977). Постепенно популяционные группировки мышевидных грызунов и соболя смогли частично адаптироваться к влиянию водохранилища, а система «хищник – жертва» на его побережье стабилизировалась.

Таблица 1. Основные показатели влияния Зейского водохранилища на популяционные группировки модельных видов.

Показатели	Модельные виды							
	Кабарга		Изюбрь		Сибирская косуля		Соболь	
	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль
Период максимального влияния водохранилища	1974-2005	–	1974-1999	–	1974-2002	–	1984-2005	–
Примерная длительность адаптации	30 лет	–	25 лет	–	28 лет	–	20 лет	–
Продолжительность депрессий	8 лет (1997-2005)	6 лет (2000-2005)	7 лет (1988-1994)	4 года (1990-1994)	8 лет (1996-2004)	6 лет (1998-2004)	9 лет (1993-2002)	5 лет (1994-1999)
Корреляция динамики численности с природными лимитирующими факторами	r = 0.03; p > 0.1 (с осадками мая-июня за предыдущие 5 лет)	r = 0.45; p = 0.05 (с осадками мая-июня за предыдущие 5 лет)	r = 0.06; p > 0.1 (с осадками мая-июня)	r = 0.36; p = 0.1 (с осадками мая-июня)	r = 0.27; p > 0.1 (с осадками мая-июня)	r = 0.39; p = 0.05 (с осадками мая-июня)	r = 0.47; p = 0.01 (с суммарной численностью мышевидных)	r = 0.51; p = 0.001 (с суммарной численностью мышевидных)
Корреляция с динамикой численности в Амурской области	r = -0.03; p > 0.1	r = 0.49; p = 0.05	r = -0.12; p > 0.1	r = 0.22; p > 0.1	r = 0.39; p = 0.1	r = 0.64; p = 0.001	r = 0.42; p = 0.05	r = 0.6; p = 0.001
Амплитуда колебаний плотности населения (особей/1000 га)	0.19 – 10.2	0.4 – 8.8	0.2 – 2.3	0.38 – 1.95	0.1 – 12.1	0.99 – 5.37	0.46 – 15.27	2.42 – 10.57

Продолжение таблицы 1.

Показатели	Модельные виды							
	Кабарга		Изюбрь		Сибирская косуля		Соболь	
	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль
Во сколько раз максимальная плотность населения выше минимальной	53.7	22.0	11.5	5.1	121.0	5.4	33.2	4.4
Среднегодовая плотность населения (особей/1000 га)	1.97 (1987-2005)	3.8 (1987-2005)	0.63 (1987-2001)	1.29 (1987-2001)	0.43 (1974-2002)	1.96 (1974-2002)	2.54 (1987-2005)	3.93 (1987-2005)
Среднегодовые потери (особей/1000 га)	1.83	—	0.66	—	1.53	—	1.39	—
Среднегодовые потери (%)	51.8	—	51.2	—	78.1	—	35.4	—

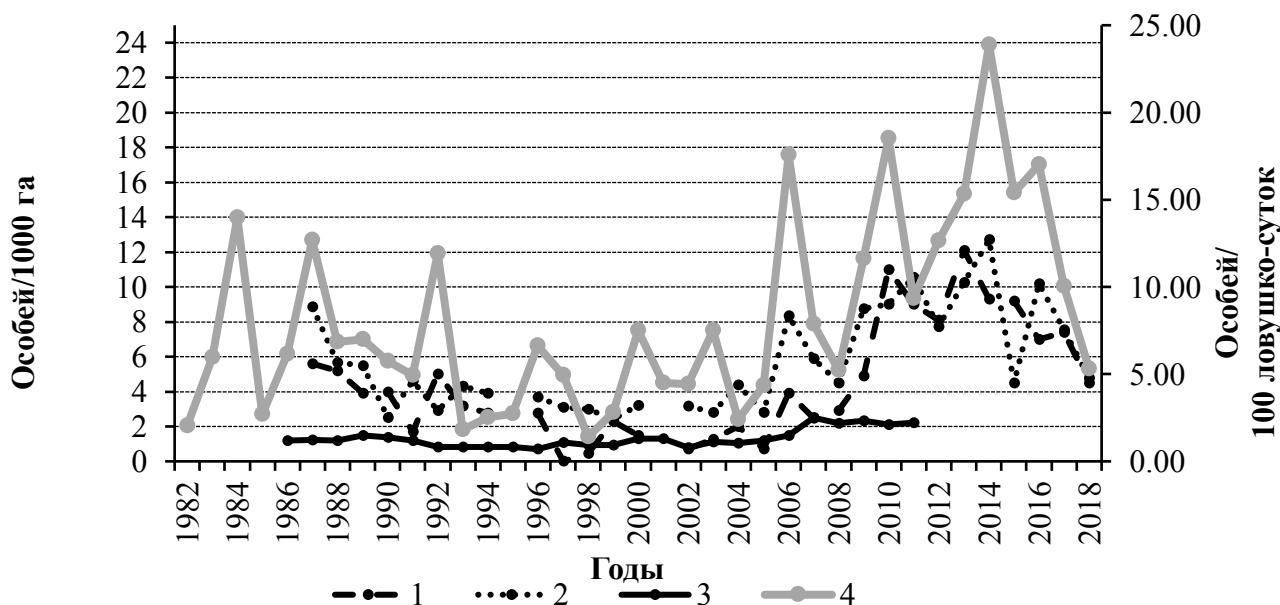


Рис. 4. Динамика плотности населения соболя на территории Зейского заповедника и Амурской области. Условные обозначения: 1 — побережье водохранилища («опыт»); 2 — вне побережий крупных водоемов и водотоков («контроль»); 3 — Амурская область («фон»); 4 — суммарная попадаемость мышевидных грызунов в ловушки Геро по результатам осенних отловов (в среднем для всей территории Зейского заповедника).

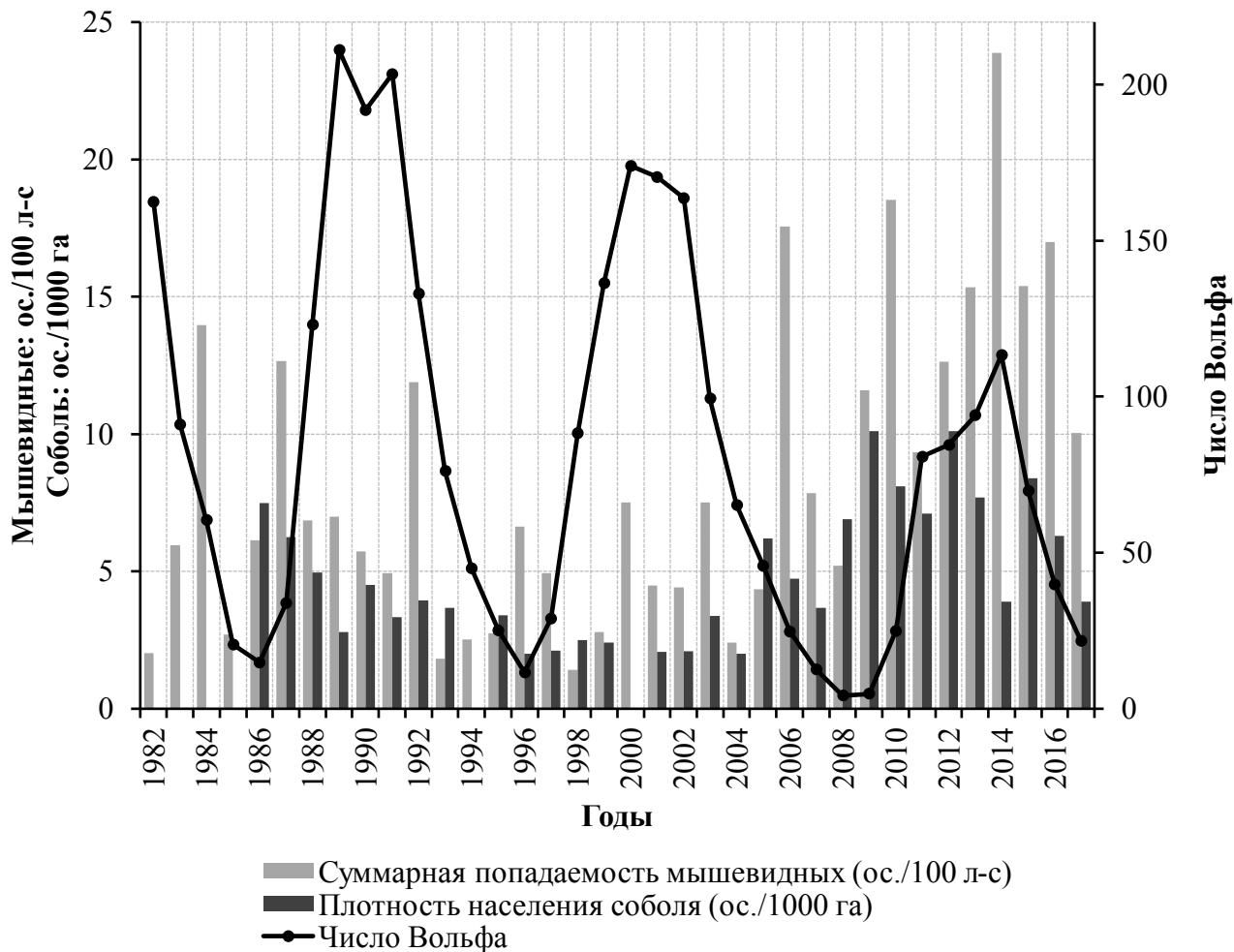


Рис. 5. Динамика плотности населения соболя в Зейском заповеднике, суммарная попадаемость мышевидных грызунов и солнечная активность.

Выводы

Обязательным условием объективной характеристики антропогенного воздействия водохранилища на наземных позвоночных является многолетний зоологический мониторинг, включающий наблюдения на «опытных» и «контрольных участках», а также «фоновые» данные о динамике численности рассматриваемых видов в регионе. На примере Зейского водохранилища мы разработали алгоритм выявления влияния гидростроительства на модельные виды млекопитающих, предусматривающий 5 основных шагов.

Первым шагом является восстановление хронологии изменения плотности населения модельного вида на рассматриваемой территории и в регионе за максимально возможный отрезок времени. При этом используются не только результаты регулярных учетов, но также литературные, фондовые и опросные данные: для кабарги – с 1950 гг., для изюбря и косули – с 1960-х гг., для соболя – с 1920-х гг. Сравнение «опытных», «контрольных» и «фоновых» данных позволяет примерно определить для каждого модельного вида период «максимального влияния водохранилища» и длительность частичной адаптации: для кабарги – 30 лет, для изюбря – 25 лет, для косули – 28 лет, для соболя – 20 лет (табл. 1). Основаниями для выделения периода «максимального влияния водохранилища» являлись асинхронизация/синхронизация динамики численности, а также резкое

увеличение/снижение различий в плотности населения на «опытных» и «контрольных» участках.

Вторым шагом предложенного алгоритма является определение ведущих природных факторов динамики численности модельного вида. Для кабарги, изюбря и косули это, прежде всего, осадки начала вегетационного периода (май, июнь), определяющие запас зимних кормов и выживание молодняка. Из-за медленного роста эпифитных лишайников, представляющих основной зимний корм кабарги, динамика численности этого вида на 4-6 лет запаздывает за ходом весенне-летних осадков. Для соболя ведущим природным фактором является динамика суммарной численности мышевидных грызунов, показывающая значимую отрицательную корреляцию с циклами солнечной активности и многолетними тенденциями хода весенне-летних осадков (рис. 5, табл. 1).

Третий шаг предполагает установление основных факторов влияния водохранилища на динамику численности модельных видов. Для кабарги это – ухудшение защитных условий, рост смертности на побережье искусственного водоема от травм, хищников и эпизоотий; для изюбря – браконьерство и гибель от волков на льду водохранилища; для косули – нарушение путей сезонных миграций, браконьерство и рост пресса охоты хищников; для соболя – микроклиматическое влияние водохранилища, ведущее к обеднению кормовой базы (снижение численности мышевидных грызунов) и увеличению заболеваемости дерматитом.

Четвертым шагом является выделение общих объективных признаков влияния гидростроительства на млекопитающих. Для всех модельных видов в зоне влияния Зейского водохранилища («опытные» участки) отмечены повышенная длительность популяционных депрессий; пониженный уровень корреляции динамики численности с изменениями основных лимитирующих природных факторов; пониженная среднегодовая плотность населения; повышенная амплитуда колебаний показателей численности. Указанные закономерности иллюстрируются объективными измеряемыми показателями влияния гидростроительства на популяции млекопитающих (табл. 1).

Пятый шаг представляет количественную оценку потерь популяционных группировок модельных видов в условиях влияния водохранилища. Наиболее объективным условным показателем мы считаем разность между средней многолетней плотностью населения на «опытных» и «контрольных» участках, выраженную в % от «контрольного» уровня. Средние многолетние показатели численности рассчитывались для «периода максимального влияния водохранилища», соответствующему длительности частичной адаптации – 20-30 лет (табл. 1). В течение обозначенных временных отрезков популяционные группировки модельных видов на побережье горной части Зейского водохранилища ежегодно теряли определенную часть поголовья: кабарга – 51.8%, изюбрь – 51.2%, косуля – 78.1%, соболь – 35.4%.

В итоге можно констатировать, что при условии охраны на территории заповедника все модельные виды за 20-30 лет смогли частично адаптироваться к появлению Зейского водохранилища. На склонах его побережья восстановилась естественная популяционная динамика; частично восстановилось поголовье; возобновились сезонные миграции. При этом необходимо отметить, что плотность населения большинства видов зверей и миграционная активность косули остались существенно ниже исходных.

Финансирование. Работа выполнена в рамках темы № FMWZ-2022-0002 Государственного задания ИВП РАН «Исследование геэкологических процессов в гидрологических системах суши, формирования качества поверхностных и подземных вод, проблем управления водными ресурсами и водопользованием в условиях изменений климата и антропогенных воздействий».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1. Авакян А.Б., Подольский С.А. 2002. К вопросу о влиянии водохранилищ на животных // Водные ресурсы. Т. 29. № 2. С. 141-151.
2. Астафьев А.А. 1988. Погодные условия и результативность промысла соболя // Хронологические изменения численности охотничьих животных в РСФСР: Сб. научных трудов. М.: Б. и. С. 137-139.
3. Бромлей Г.Ф., Костенко В.А., Николаев И.Г., Охотина М.В., Юдин В.Г., Братенков П.В. 1984. Млекопитающие Зейского заповедника. Владивосток: ДВНЦ АН СССР. 139 с.
4. Дарман Ю.А., Колобаев Н.Н. 1993. Влияние Зейского водохранилища на копытных животных // Явления и процессы в природном комплексе Зейского заповедника. М.: Пресфок. С. 63-85.
5. Дьяконов К.Н. 1992. Взаимодействие водохранилищ с ландшафтами прилегающих территорий и проблемы эколого-географической экспертизы // Основы эколого-географической экспертизы. М.: Изд-во МГУ. С. 178-193.
6. Игнатенко С.Ю., Подольский С.А., Былков А.Ф. 2007. Мониторинг гибели мигрирующих косуль в зоне влияния Бурейского водохранилища и расчет ущерба близлежащим ООПТ // Материалы VIII дальневосточной конференции по заповедному делу. Благовещенск: Изд-во БГПУ. Т. 1. С. 151-159.
7. Карасева Е.В., Телицына А.Ю. 1996. Методы изучения грызунов в полевых условиях. М.: Наука. 200 с.
1. Avakyan AB, Podolsky SA. On the effect the reservoirs have on animals [K voprosu o vliyanii vodokhranilishch na zhivotnykh] *Water Resources [Vodnyye resursy]*. 2002;29(2):141-151.
2. Astafiev AA. Weather conditions and the effectiveness of sable hunting [Pogodnyye usloviya i rezul'tativnost' promysla sobolya] *Chronological changes in the number of game animals in the RSFSR: Collection of scientific works [Khronologicheskiye izmeneniya chislennosti okhotnich'ikh zhivotnykh v RSFSR: Sbornik nauchnykh trudov]*. Moscow: B. i. S., 1988:137-139.
3. Bromley GF, Kostenko VA, Nikolaev IG, Okhotina MV, Yudin VG, Bratenkov PV. *Mammals of the Zeya Reserve [Mlekopitayushchiye Zeyskogo zapovednika]*. Vladivostok: DVNTS AN SSSR, 1984:139.
4. Darman YuA, Kolobaev NN. The influence of the Zeya Reservoir on ungulates [Vliyanie Zeyskogo vodokhranilishcha na kopytnykh zhivotnykh] *Phenomena and processes in the natural complex of the Zeya Reserve [Yavleniya i protsessy v prirodnom komplekse Zeyskogo zapovednika]*. Moscow: Presfok, 1993:63-85.
5. Dyakonov KN. Relationship between reservoirs and landscapes of adjacent territories and problems of ecological and geographical expertise [Vzaimodeystviye vodokhranilishch s landshaftami prilegayushchikh territoriy i problemy ekologo-geograficheskoy ekspertizy] *Basis of ecological and geographical expertise [Osnovy ekologo-geograficheskoy ekspertizy]*. Moscow: Publishing House of MGU, 1992:178-193.
6. Ignatenko SYu, Podolsky SA, Bylkov AF. Monitoring the death of migrating roe deer in the zone of influence of the Bureya Reservoir and calculating the damage to nearby specially protected natural territories [Monitoring gibeli migriruyushchikh kosul' v zone vliyaniya Bureyskogo vodokhranilishcha i raschet ushcherba blizlezhashchim OOPT] *Proc. of the VIII Far Eastern Conference on Reserve Management, Blagoveshchensk, 2007 [Materialy VIII dal'nevostochnoy konferentsii po zapovednomu delu]*. Blagoveshchensk: Publishing house of BSPU, 2007;1:151-159.

8. Кузякин В.А., Челинцев Н.Г., Ломанов И.К. 1990. Методические указания по организации, проведению и обработке данных зимнего маршрутного учета охотничьих животных в РСФСР. М.: ЦНИЛ Главохоты РСФСР. 51 с.
9. Лобанов Г.И. 1977. Влияние летних осадков на заболеваемость соболей дерматитом // Экология и использование охотничьих животных Красноярского края. Красноярск: АН СССР. С. 38-39.
10. Парилов М.П., Игнатенко С.Ю., Кастроин В.А. 2006. Гипотеза влияния многолетних гидрологических циклов и глобального изменения климата на динамику численности японского, даурского журавлей и дальневосточного аиста в бассейне реки Амур // Влияние изменения климата на экосистемы бассейна реки Амур. М.: WWF России. С. 92-110.
11. Подольский С.А. 1993. К методике учета крупных копытных в Зейском заповеднике // Явления и процессы в природном комплексе Зейского заповедника: Сб. научных трудов. М.: Пресфок. С. 64-86.
12. Подольский С.А., Игнатенко С.Ю., Кастроин В.А., Антонов А.И., Парилов М.П. 2009. Основные закономерности динамики животного населения и особенности охраны фауны в зонах влияния крупных горных водохранилищ Дальнего Востока // Байкальский зоологический журнал. № 4. С. 98-105.
13. Подольский С.А. 2013. Методический подход к оценке значимости природных и антропогенных факторов динамики численности копытных
7. Karaseva EV, Telitsyna AYu. Methods for studying rodents in the field [Metody izucheniya gryzunov v polevykh usloviyakh]. Moscow: Nauka, 1996:200.
8. Kuzyakin VA, Chelintsev NG, Lomanov IK. Guidelines for organizing, conducting and processing data from winter route accounting of game animals in the RSFSR [Metodicheskiye ukazaniya po organizatsii, provedeniyu i obrabotke dannykh zimnego marshrutnogo ucheta okhotnich'ikh zhivotnykh v RSFSR]. Moscow: TSNIL Glavokhoty RSFSR, 1990:51.
9. Lobanov GI. Influence of summer precipitation on the incidence of dermatitis in sables [Vliyaniye letnikh osadkov na zabolevayemost' soboley dermatitom] Ecology and use of hunting animals of the Krasnoyarsk Territory [Ekologiya i ispol'zovaniye okhotnich'ikh zhivotnykh Krasnoyarskogo kraja]. Krasnoyarsk: AN SSSR, 1977:38-39.
10. Parilov MP, Ignatenko SYu, Kastrikin VA. Hypothesis of the influence of long-term hydrological cycles and global climate change on the population dynamics of the Japanese, Whitenaped cranes and Far Eastern storks in the Amur River basin [Gipoteza vliyaniya mnogoletnikh gidrologicheskikh tsiklov i global'nogo izmeneniya klimata na dinamiku chislennosti yaponskogo, daurskogo zhuravley i dal'nevostochnogo aista v basseyne reki Amur] Influence of climate change on the ecosystems of the Amur River basin [Vliyaniye izmeneniya klimata na ekosistemy basseyna reki Amur]. Moscow: WWF Rossii, 2006:92-110.
11. Podolsky SA. On the methodology for accounting for large ungulates in the Zeya Reserve [K metodike ucheta krupnykh kopytnykh v Zeyskom zapovednike] Phenomena and processes in the natural complex of the Zeya Reserve: Collection of scientific works [Yavleniya i protsessy v prirodnom komplekse Zeyskogo zapovednika: Sbornik nauchnykh trudov]. Moscow: Presfok, 1993:64-86.
12. Podolsky SA Ignatenko SYu, Kastrikin VA, Antonov AI, Parilov MP. Main patterns of the dynamics of the animal population and the features of fauna protection in the zones of influence of large mountain reservoirs of the Far East [Osnovnyye zakonomernosti dinamiki zhivotnogo naseleniya i osobennosti okhrany fauny v zonakh vliyaniya

- на примере зоны влияния Зейского водохранилища // Поволжский экологический журнал. № 3. С. 291-303.
14. Рusanov Я.С. 1986. Основы охотоведения. М.: Изд-во МГУ. 160 с.
15. Филонов К.П. 1977. Динамика численности копытных животных и заповедность. Охотоведение. М.: Лесная промышленность. 229 с.
16. Щетинин В.И. 1973. Млекопитающие Зейского заповедника // Вопросы географии Дальнего Востока. Хабаровск. № 11. С. 137-140.
17. Sunspot Index and Long-term Solar Observations (SILSO). 2019 [Электронный ресурс: <http://www.sidc.be/silso/datafiles/> (дата обращения 20.03.2019)]. krupnykh gornykh vodokhranilishch Dal'nego Vostoka] *Baikal Zoological Journal [Baykal'skiy zoologicheskiy zhurnal]*. 2009;4:98-105.
13. Podolsky SA. A methodological approach to assessing the significance of natural and anthropogenic factors in the dynamics of the number of ungulates on the example of the zone of influence of the Zeya reservoir [Metodicheskiy podkhod k otsenke znachimosti prirodnykh i antropogennykh faktorov dinamiki chislennosti kopytnykh na primere zony vliyaniya Zeyskogo vodokhranilishcha] *Povolzhsky Ecological Journal*. 2013;3:291-303.
14. Rusanov YaS. Fundamentals of hunting [Osnovy okhotovedeniya]. Moscow: Publishing House of Moscow State University, 1986:160.
15. Filonov KP. Dynamics of the number of ungulates and conservation [Dinamika chislennosti kopytnykh zhivotnykh i zapovednost']. Hunting [Okhotovedeniye]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1977:229.
16. Shchetinin VI. Mammals of the Zeya Reserve [Mlekopitayushchiye Zeyskogo zapovednika] *Problems of Geography of the Far East [Voprosy geografii Dal'nego Vostoka]*. Khabarovsk, 1973;11:137-140.
17. Sunspot Index and Long-term Solar Observations (SILSO). 2019, Available at <http://www.sidc.be/silso/datafiles/> (Date of Access 20/03/2019).

UDC 502.5/8; 502.74; 574.472; 574.91; 574.24

**INDICATORS OF CHANGES IN POPULATION GROUPS OF MAMMALS
IN THE INFLUENCE AREA OF THE ZEYA RESERVOIR
UNDER THE IMPACT OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS**

© 2022. S.A. Podolsky*, **, T.A. Domanov**, E.K. Krasikova**,
L.Yu. Levik***, K.P. Pavlova**

*Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences
Russia, 119333, Moscow, Gubkina Str. 3. E-mail:sergpod@mail.ru

**Zeya State Natural Reserve
Russia, 676246, Amur Region, Zeya, Stroitelnaya Str. 71. E-mail: zzap@mail.ru

***M.V. Lomonosov Moscow State University
Russia, 119991, Moscow, GSP-1, Leninsky Gory 1, MGU, Faculty of Geography
E-mail: lilia-levik@yandex.ru

Received June 01, 2022. Revised August 30, 2022. Accepted September 01, 2022.

Using the long-term data of the Zeya Nature Reserve, we accessed the natural and anthropogenic factors and their significance for the dynamics of the number of population groups of mammals in the influence area of the Zeya reservoir. Siberian musk deer (*Moschus moschiferus*), elk (*Cervus canadensis*), Siberian roe deer (*Capreolus pygargus*) and sable (*Martes zibellina*) were selected as model species. The anthropogenic part of population dynamics is defined on the basis of a comparative analysis of the long-term “test” (shore of the Zeya reservoir within the reserve territory), “control” (reserve territory outside the shores) and “background” (Amur Region) observations. We offer a step-by-step algorithm for studying mammals in the influence area of any large hydraulic structures. *The first step* is to restore the chronology of changes in the population density of the model species, then to determine the time needed for each species to partially adapt to the reservoir, which is as follows: musk deer – 30 years, elk – 25 years, roe deer – 28 years, sable – 20 years. *The second step* is to determine the leading natural factors of population dynamics. For musk deer, elk and roe deer the defining factor is precipitation in the early growing season of May and June, which determines the amount of winter food supply and the survival rate of young animals. For sable the factor is the dynamics of the total number of mouse-like rodents, which has a significant negative correlation with the cycles of solar activity and long-term trends of spring-summer precipitation. *The third step* is to determine the main factors of the influence that the reservoir causes on the population dynamics of the model species. For musk deer this is deteriorating conditions of protection, increasing mortality along the shoreline of an artificial reservoir due to various injuries, predators and epizootics. For elks this is the poaching activities and wolves that hunt them on the surface of the frozen reservoir. For roe deer this is the disrupted routes of seasonal migration, poaching and increasing hunting pressure from the predators. For sable it is the microclimatic influence of the reservoir that causes an increase in morbidity and depletion of the food supply due to decreasing numbers of mouse-like rodents. *The fourth step* is to identify common signs of the hydro construction impact on any mammals. Each model species found in the influence area of the Zeya reservoir experiences prolonged population depressions, low level of correlation between population dynamics and changes in the main limiting natural factors, reduced population density, and increased amplitude of population fluctuations. *The fifth step* is to quantify the impact the reservoir has on the model species. We used such index as the difference between the average (over the adaptation period) population density on the “control” plots and on the reservoir coast, in % of the “control” level. The average annual losses were 51.8% for Siberian musk deer, 51.2% for elk, 78.1% for Siberian roe deer, and 35.4% for sable. While being under protection, each of these model species was able to partially adapt to the Zeya reservoir over 20-30 years; their population dynamics generally recovered, but the density and migration activity remained significantly lower than it was before the construction of the reservoir.

Keywords: hydro construction, impact assessment, model species, Siberian musk deer, elk, Siberian roe deer, sable, mouse-like rodents, population dynamics, solar activity, precipitation.

DOI: 10.24412/2542-2006-2022-3-87-103

EDN: IIPQJG

===== METHODS FOR STUDYING, MAINTENANCE AND PRESERVING ECOSYSTEMS =====
AND THEIR COMPONENTS

UDC 502.5/8; 502.74; 574.472; 574.91; 574.24

INDICATORS OF CHANGES IN POPULATION GROUPS OF MAMMALS
IN THE INFLUENCE AREA OF THE ZEYA RESERVOIR
UNDER THE IMPACT OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS

© 2022. S.A. Podolsky***, T.A. Domanov**, E.K. Krasikova**,
L.Yu. Levik***, K.P. Pavlova**

*Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences
Russia, 119333, Moscow, Gubkina Str. 3. E-mail:sergpod@mail.ru

**Zeya State Natural Reserve
Russia, 676246, Amur Region, Zeya, Stroitelnaya Str. 71. E-mail: zzap@mail.ru

***M.V. Lomonosov Moscow State University
Russia, 119991, Moscow, GSP-1, Leninsky Gory 1, MGU, Faculty of Geography
E-mail: lilia-levik@yandex.ru

Received June 01, 2022. Revised August 30, 2022. Accepted September 01, 2022.

Using the long-term data of the Zeya Nature Reserve, we accessed the natural and anthropogenic factors and their significance for the dynamics of the number of population groups of mammals in the influence area of the Zeya reservoir. Siberian musk deer (*Moschus moschiferus*), elk (*Cervus canadensis*), Siberian roe deer (*Capreolus pygargus*) and sable (*Martes zibellina*) were selected as model species. The anthropogenic part of population dynamics is defined on the basis of a comparative analysis of the long-term "test" (shore of the Zeya reservoir within the reserve territory), "control" (reserve territory outside the shores) and "background" (Amur Region) observations. We offer a step-by-step algorithm for studying mammals in the influence area of any large hydraulic structures. *The first step* is to restore the chronology of changes in the population density of the model species, then to determine the time needed for each species to partially adapt to the reservoir, which is as follows: musk deer – 30 years, elk – 25 years, roe deer – 28 years, sable – 20 years. *The second step* is to determine the leading natural factors of population dynamics. For musk deer, elk and roe deer the defining factor is precipitation in the early growing season of May and June, which determines the amount of winter food supply and the survival rate of young animals. For sable the factor is the dynamics of the total number of mouse-like rodents, which has a significant negative correlation with the cycles of solar activity and long-term trends of spring-summer precipitation. *The third step* is to determine the main factors of the influence that the reservoir causes on the population dynamics of the model species. For musk deer this is deteriorating conditions of protection, increasing mortality along the shoreline of an artificial reservoir due to various injuries, predators and epizootics. For elks this is the poaching activities and wolves that hunt them on the surface of the frozen reservoir. For roe deer this is the disrupted routes of seasonal migration, poaching and increasing hunting pressure from the predators. For sable it is the microclimatic influence of the reservoir that causes an increase in morbidity and depletion of the food supply due to decreasing numbers of mouse-like rodents. *The fourth step* is to identify common signs of the hydro construction impact on any mammals. Each model species found in the influence area of the Zeya reservoir experiences prolonged population depressions, low level of correlation between population dynamics and changes in the main limiting natural factors, reduced population density, and increased amplitude of population fluctuations. *The fifth step* is to quantify the impact the reservoir has on the model species. We used such index as the difference between the average (over the adaptation period) population density on the "control" plots and on the reservoir coast, in % of the "control" level. The average annual losses were 51.8% for Siberian musk deer, 51.2% for elk, 78.1% for Siberian roe deer, and 35.4% for sable. While being under protection, each of these model species was able to partially adapt to the

Zeya reservoir over 20-30 years; their population dynamics generally recovered, but the density and migration activity remained significantly lower than it was before the construction of the reservoir.

Keywords: hydro construction, impact assessment, model species, Siberian musk deer, elk, Siberian roe deer, sable, mouse-like rodents, population dynamics, solar activity, precipitation.

DOI: 10.24412/2542-2006-2022-3-104-119

EDN: KJNMJP

In the influence areas of large water reservoirs the indicators of abundance, the nature of population dynamics, and the spatial distribution of most animal species change. However, while under the impact of hydraulic construction activities, the natural population fluctuations continue to occur due to natural phenomena and processes. To justify compensatory measures accompanying the constructions and an to give an objective assessment to the environmental damage, it is necessary not only to state that hydro construction have an impact on terrestrial animals around, but also to highlight the natural and anthropogenic components of the dynamics of their populations in the affected areas. The solution of this problem is both of practical and scientific interest, making it possible to determine various responses of various species to anthropogenic impact and the relative stability of their population groups.

Usually, the impact of hydro construction on wild animals is determined by the comparison of the population state before/after the creation of a water reservoir (Avakyan, Podolsky, 2002). This approach is without doubt rational, but it should be noted that the natural fluctuations of population may be left out in the absence of any additional data. In this work we determine the anthropogenic component of population dynamic based on a comparative analysis of long-term series of “test”, “control” and “background” observations: test is on the shore of the Zeya reservoir, control is slightly remote from it, and background is throughout the entire Amur Region.

The informational basis of this work is built on the data obtained in the Zeya Nature Reserve during winter censuses of mammals. We selected 4 model species for our analysis: Siberian musk deer (*Moschus moschiferus*), elk (*Cervus canadensis*), Siberian roe deer (*Capreolus pygargus*), and sable (*Martes zibellina*). They are common or abundant in the region and in the Zeya Reserve in particular, of great economic importance, and can be reliably counted using the standard methods in the influence area of the Zeya reservoir and throughout the Amur Region in general. We also included data on the total number of mouse-like rodents, the main component of sables’ diet.

Materials and Methods

The Zeya reservoir is located in the north of the Amur Region, inside the Upper Zeya Lowland and the Zeya Gorge. Our studies took place mainly in the territory of the Zeya Reserve which is located in the eastern part of the Tukuringra Range and on the western shore of the gorge. We used the results of zoological observations carried out in the reserve in 1964-2018, including the data of regular standardized studies that took place in 1982-2018 and covered the influence area of the mountainous part of the water reservoir. Such continuous observations (> 35 years) have never been carried out for any other reservoirs of Siberia and the Far East.

The population indices of model species were determined using the winter route censuses (Kuzyakin et al., 1990) and multi-day census based on calculating the difference in the number of entry and exit tracks of the studied animals within the key site and on its borders (Rusanov, 1986). When calculating population density during winter, the conversion factor to the formula of A.N. Formozov was based on the occurrence of animals’ tracks within the sites of a multi-day census (Podolsky, 1993). The total length of winter routes performed from 1986 to 2018 is about 9500 km. The multi-day census took place at 8 sites, with their total area of about 5000 ha. Every year 3-5 sites were studied; their total area was at least 2.5 thousand ha. In addition, we used

data for 1986-2010 from official censuses of game species in the Amur Region. The mouse-like rodents were counted according to the standard method along the routes lined with the spring-loaded bar traps "Hero" (Karaseva, Telitsyna, 1996). We also analyzed the census data for small mammals obtained from 33 permanent trap routes. The total amount of captures for 1982-2018 is about 44600 traps-days. Besides, we used the spring-summer precipitation data from the "Zeya" Hydrometeorological Observatory (May-June) for 1981-2017, and solar activity indicators for the same period (Sunspot Index ..., 2019).

The materials were processed by comparing the population dynamic of the model species in 1982-2018 at the test sites of the slopes and ridges peaks adjacent to the reservoir, at the control sites separated from it by coastal ridges, and throughout the Amur Region, i.e. the background. The starting point was the data obtained in 1963-1974, before the reservoir was filled and the existing zoological observations were not yet standardized. Nevertheless, they provide a general retrospective idea of the state of population groups of the studied model species, such as abundance indicators, their spatial and biotopic distribution, and intensity of their seasonal migrations.

Results and Discussion

Specific Reaction of Model Species to the Creation of the Zeya Reservoir

Siberian musk deer (*Moschus moschiferus*) is a typical inhabitant of the dark coniferous mountain taiga. In the Zeya Nature Reserve musk deer can be found in most forest biotopes, including larch, larch-birch and oak-black birch forests. According to the surveys of the old locals, it was often encountered in the valleys of the Zeya and Gilyuy Rivers in the 1950s (Schetinin, 1973), where its population density could reach 2.5-3.0 individuals per 1000 ha. From the second half of the 1960s to the early 1980s its population experienced a severe depression throughout the region. Along with natural causes, the construction of the Zeya hydroelectric power station could have played a significant role as well. For example, a sharp increase in poaching and habitat destruction (flooding, fires) recently caused a rapid decrease in the number of musk deer in around the Bureya hydroelectric complex, where in some areas it dropped by 30-40% over every year (Podolsky et al., 2009). Therefore, it is possible that a similar situation occurred in the late 1960s and 1970s around the construction area of the Zeya hydroelectric complex. In addition, it was aggravated by the fact that the Zeya reservoir flooded large areas of spruce forests in the valley and rocky sediments on the shore, the main habitats and protective hubs of Siberian musk deer. In the early 1980s there were only 1.2-2.5 deer per 1000 ha of their usual habitats (Bromley et al., 1984).

Starting from the second half of the 1980s the number of musk deer in the Zeya Reserve and around the shores of the reservoir began to increase rapidly (Fig. 1). Its decline on the shore started in 1996-1997, but in the winter of 1999-2000 a sharp drop was registered throughout the entire reserve and the adjacent territories. In 1999-2001 several dead deer were found in the reserve without any signs of damage. In 2000-2002 its population density has decreased to its minimum of 0.3-1.0 ind./1000 ha. In this case the mass death and decrease could be results of an epizootic, although usually epizootics affect only those populations the state of which is dangerously critical.

Both in the Reserve and the Amur Region the population density peaks took place in 1997-1998, while depression were registered in 2000-2002. However, in the region its density was decreasing at a much slower pace, without reaching its minimum indicators and without influence of any epizootics. We can assume that the causes of the decline in the late 90s – early 2000s were due to the similar natural factors. However, under the influence of the Zeya reservoir, the depression turned into a catastrophe.

Usually, the main natural cause of change in the number of wild ungulates is the mortality or survival rate of younglings (Filonov, 1977), which severely depends on the amount and availability

of food available during winter. In the Far East and Siberia the main food for musk deer is epiphytic lichens from the Usneaceae family that form more than 80% of their winter ration. The growth of the integral part of the lichen, a specific alga, depends on the air humidity and the amount of precipitation, because a moist substrate makes it possible for the lichens to spread successfully. Therefore, a rainy spring is the suitable condition that ensures the optimal ratio of these indicators. After several wet springs following each other (i.e. the second half of the 1950s, the second half of the 1980s, the middle of the 2000s) the population of Siberian musk deer grows, while several dry springs (early 1970s, second half of the 1990s) are followed by its decrease. Spring is considered dry, if the sum of May and June precipitation is ≤ 120 mm.

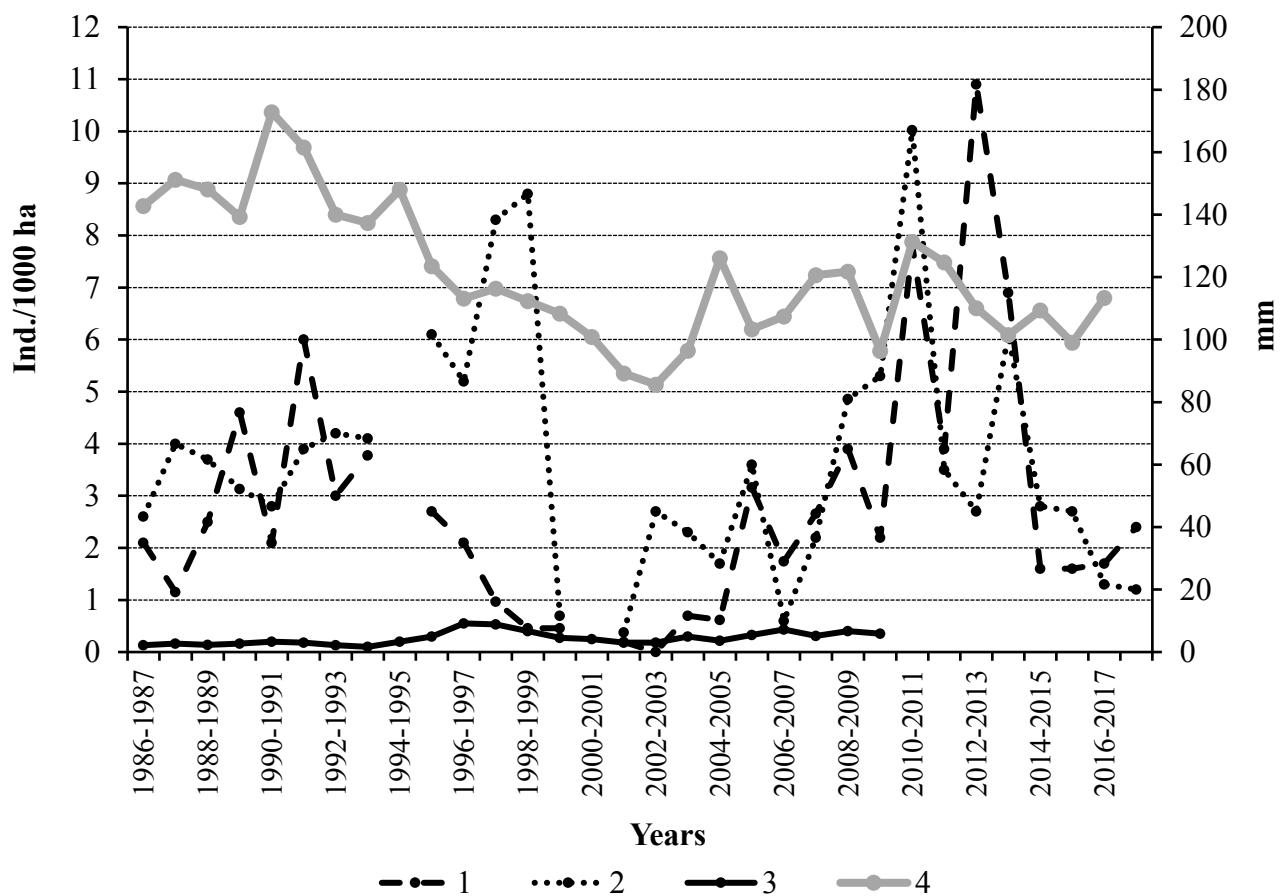


Fig. 1. Dynamic of Siberian musk deer population density in the Zeya Nature Reserve and the Amur Region. Legend: 1 – shores of the water reservoir (test sites), 2 – outside the shores of large water bodies and streams (control sites), 3 – forests of Amur Region (background), 4 – sum of May and June precipitation according to the Zeya hydrometeorological station, smoothed by the moving average for 5 years.

The population density of musk deer outside the reservoir shores and throughout the entire reserve territory correlates well with the dynamics trend of the total May and June precipitation over the previous 4-6 years ($R = 0.45$, $p = 0.05$) that was obtained by smoothing the moving average method for 5 years (Fig. 1). The registered delay in the population dynamics could be associated with the slow growth of the mentioned lichens. Thus, the main natural factor for the Siberian musk deer population is the precipitation of the previous 4-6 springs, determining the successful spread of epiphytic lichens.

The shores of a large water reservoir can be a nidus of instability for the musk deer population, since the frequency of deer death is increased there due to predators and injuries, mass poaching, and the spread of dangerous infections (Podolsky et al., 2009). The influence of a large artificial reservoir severely disturbs the natural course of the population dynamics. The population group of musk deer along the shores of the Zeya Reservoir is known for its increased amplitude of their population density fluctuations at the stage of growth of the population, as well as for the prolonged depressions (Fig. 1). The difference between the maximum and minimum numbers of deer is 53.7 times (0.19 to 10.2 ind./1000 ha) at the test sites on the shores, and up to 22.0 times (0.4 to 8.8 ind./1000 ha) at the control sites of low mountains remote from the shore. Therefore, the maximum long-term amplitude of fluctuations in the influence area of the reservoir (test territory) is *2.4 times* higher than the one in the control territory. Additionally, in the influence area (test sites) depressions usually begin 1-3 years earlier and end 1-2 years later than they do at the test sites (Fig. 1).

From 2003-2004 the population dynamics of Siberian musk deer at the test sites (shores) have mostly synchronized with the control ones (Zeya Nature Reserve outside the shores), as well as with the Amur Region (background; Fig. 1). This may be a sign of partial adaptation of the deer population to the construction of a large artificial water reservoir. If the beginning of its filling in 1974 is considered a starting point, then the *time required for adaptation* of the population to the creation of the Zeya reservoir is *about 30 years*.

Elk (*Cervus canadensis*) is one of the most representative ungulates of the Zeya Nature Reserve. It inhabits all forest biotopes and can be found everywhere except for the subalpine Ezo spruce forests, where its encounters are extremely rare. Like the Siberian musk deer, the main factor of its population dynamics is mortality or survival rate of its younglings, determined by the amount and availability of food during winter. In its turn, the amount of food depends on the weather conditions at the beginning of the growing season (May-June), when the growth of willow shoots and other trees and shrubs is at its peak, providing the future fodder for elks.

The curve of dynamic of the elk population density in the reserve is slightly similar with the graph of the long-term changes in the amount of spring-summer precipitation (Fig. 2). However, there are also significant differences, which are most noticeable at the reservoir shores. Before it was constructed in the late 1960s – early 1970s, the average population density of elk there was about 1.3 ind./1000 ha. After its filling, these numbers dropped drastically, and in 1979-1980 the density was about 0.6-0.7 ind./1000 ha. This decrease can be explained by the deterioration of food and protective conditions along the shores of the reservoir, and especially by the increased hunting pressure from the wolves, which tend to chase their prey out onto the smooth ice of the reservoir. The pressure is also confirmed by the long-term data on the cases of elks' deaths, since the proportion killed by wolves specifically on ice after the reservoir was created increased from 25% to 36% (Podolsky, 2013).

In the middle and late 1980s, the population of elk reached the same level it was at in the late 1960s, and even slightly exceeded it. Several years after the reservoir was filled to a normal retaining level, the dynamics was generally close to natural. With the increased atmospheric humidity in 1984-1989, there were a consistently high population (more than 100 ind.) and population density (1.1-1.7 ind./1000 ha) in the reserve. In 1989-1994, the numbers decreased significantly (more than two times) to about 30-40 individuals; the especially sharp drop was noticed at the shore, where the density quickly changed from 2.5-1.2 to 0.3-0.2 ind./1000 ha. This drop seemingly contradicted the natural processes, because it took place during a well-known period of increased atmospheric humidity (1988-1994). In fact, the reasons for the drop were anthropogenic, a result of intensive poaching along the shores, since with the reservoir construction made it easier to use high-speed vehicles when hunting elks. Besides, the social crisis and deterioration of the protective activities in the nature reserve in 1989-1999 also contributed to an

abrupt intensification of poaching. However, later protection measures improved. From 2000-2002 the population dynamics of elk at the test sites (shores) have mostly synchronized with the control ones (outside the shores of large water bodies), as well as with the Amur Region (background; Fig. 2). If the beginning of its filling in 1974 is considered a starting point, then the *time required for adaptation* of the elks' population to the creation of the Zeya reservoir is *about 25 years*.

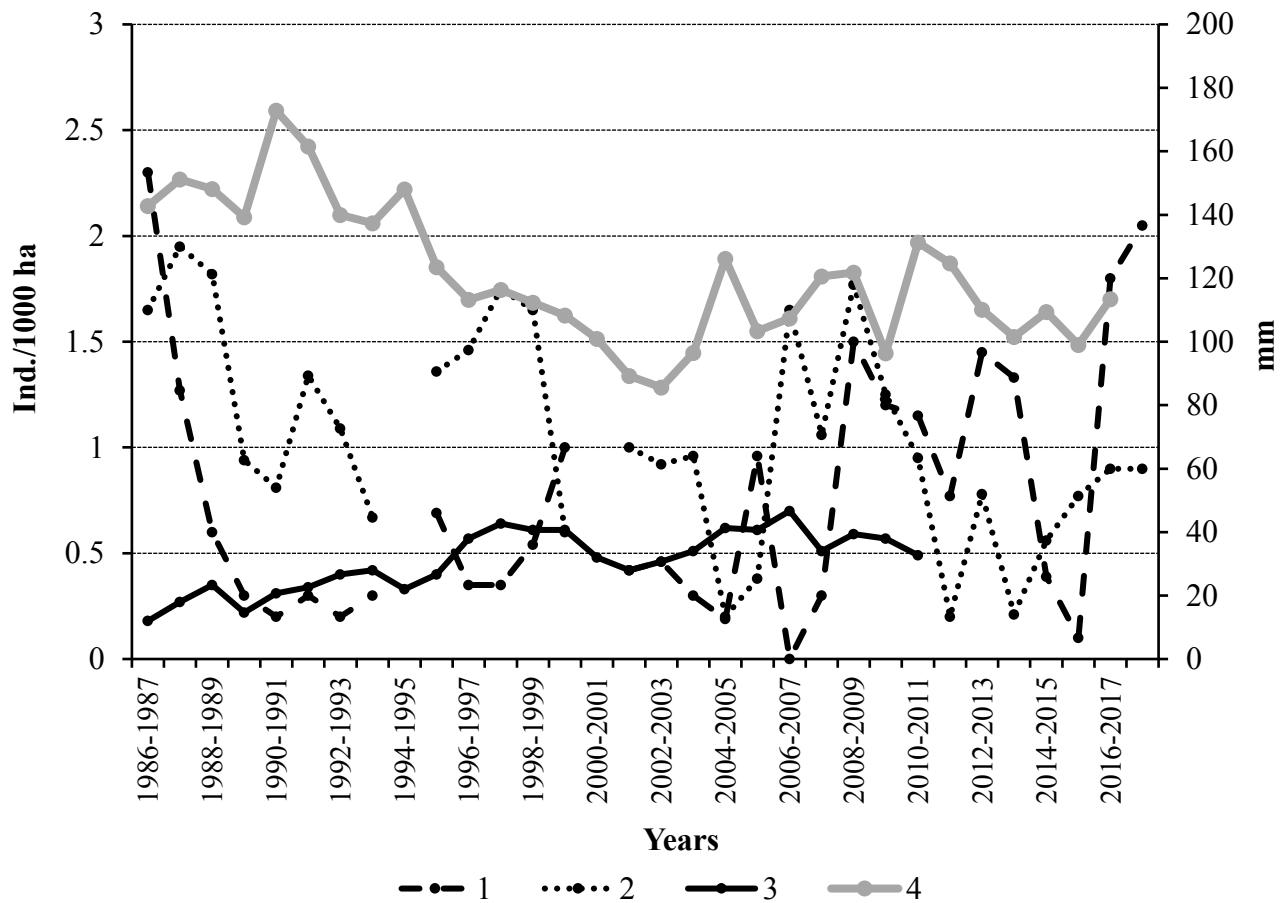


Fig. 2. Dynamic of elk population density in the Zeya Nature Reserve and the Amur Region. Legend: 1 – shores of the water reservoir (“test” plots), 2 – low mountains outside the shores of large water bodies and streams (“control” plots), 3 – forests of Amur Region (“background”), 4 – sum of May and June precipitation according to the Zeya hydrometeorological station, smoothed by the moving average for 5 years.

In the Amur Region (background) the maximum population density (0.64 ind./1000 ha in 1997-1998) was 3.2 times higher than the minimum density (0.2 ind./1000 ha in 1985-1986). This value was 11.5 (0.2 to 2.3 ind./1000 ha) at the test sites of the reservoir shores, and 5.1 (0.38 to 1.95 ind./1000 ha) at the control sites of the low mountains remote from the shore. Therefore, the maximum long-term amplitude of elks' population fluctuations in the influence area of the reservoir (test territory) is 2.3 times higher than the one in the control territory, and 3.6 times higher than in the background territory.

Siberian roe deer (*Capreolus pygargus*) was one of the most significant species of the southern macroslope of the Tukuringra Ridge before the creation of the Zeya reservoir. Here was its main route of seasonal migrations of its northernmost population of the Amur Region, passing through the Zeya Gorge and the mouth of the Gilyui River (Shchetinin, 1973). For wintering the main

population would migrate south of the Soktakhan and Tukuringra Ridges; in the spring it would return to the summer pastures of the Upper Zeya Lowland to calve.

The main natural factors that determine the number of roe deer in this area are the spring-summer precipitation, depth of snow cover and intensity of seasonal migrations. The amount of precipitation determines the amount of food, and the snow volume determines the intensity of migrations and deer' spatial distribution during winter. Roe deer are much smaller than elks and, unlike Siberian musk deer, lacks specific physiological adaptations to the conditions of deep snow. Therefore, migration and concentration of roe deer increases in the areas with less snow during the years of high (more than 30-40 cm) snow cover.

The main anthropogenic factor affecting roe deer is the disruption of migration routes due to the creation of the Zeya water reservoir. According to surveys, during the period of its filling that took place at the time of roe deer seasonal migrations, there was a high death rate of deer that tried to pass the forming bays. Similar cases have been reported for the territory of the Bureya reservoir (Ignatenko et al., 2007). Additionally, a large part of the reservoir flooded a significant area of summer pastures on the Upper Zeya Plain. Another important anthropogenic factor is the increased poaching along the shores of the reservoir.

In the 1960s the population density of roe deer on the southern macroslope of the Tukuringra Ridge was very high (15-17 ind./1000 ha); during the snowy years the density could be twice as high. The beginning of the reservoir filling and disruption of migration routes were followed by a long and severe population depression in 1975-1987 with an almost full stop of well-pronounced seasonal migrations within the Zeya Gorge. The total number of the Upper Zeya population decreased significantly, from 5 thousand to 500-1000 ind. (Darman, Kolobaev, 1993).

In 1988-1996 due to the period of increased precipitation in 1984-1995, the number of roe deer in the reserve slightly increased, seasonal migrations resumed. Since 2002-2003, the Zeya Gorge has once again become a place for the winter concentration of Siberian roe deer (Fig. 3). Partial restoration of seasonal migrations and spatial distribution can be considered a sign of population's partial adaptation to the water reservoir.

If the beginning of its filling in 1974 is considered a starting point, then the *time required for adaptation* of the roe deer population to the creation of the Zeya reservoir is 28 years. However, their migratory activity is still much lower than it used to be. Additionally, the migratory population group has managed to restore only 30% of its former range within the Upper Zeya Plain.

Sable (*Martes zibellina*) used to be the original inhabitant of the mountain taiga of the Amur Region. However, the overhunting of the XIX and early XX centuries destroyed its population, and in the 1920s sable remained only in some areas, in particular, on the northwestern tip of the Tukuringra Ridge. In 1934-1939 hunting for sable was completely prohibited. In the late 1940s the sable inhabited the eastern part of the Tukuringra Ridge once again. Its numbers continued to grow even during the first years of the filling of the Zeya reservoir. In the winter of 1980-1981 its average population density in the nature reserve was at the maximum of 13.7 ind./1000 ha (Bromley et al., 1984). In 1987-1999 the number of sables decreased in most of the Amur Region, but the sharpest and deepest drop took place at the coast of the reservoir itself, and this depression continued until 2005-2006. Over these years, the average population density decreased in the region by about two times, by 2.4 times at the test sites outside the shore, and by about 12 times at the experimental sites on the shores of the reservoir.

Starting from the winter of 2005-2006, the population dynamics of sable at the test sites (shores) have mostly synchronized with the control ones (Zeya Nature Reserve outside the shores), as well as with the Amur Region (background; Fig. 4). This may be a sign of partial adaptation of the sables' population to the construction of a large artificial water reservoir. If the completion of its filling up to a normal retaining level in 1985 is considered a starting point, when a decrease at the shores began to clearly manifest itself, then the *time required for adaptation* of the population to the

creation of the Zeya reservoir is about 20 years.

The abundance of sable at the shore (test), in the eastern part of the ridge (control), and in the entire region (background) was changing almost simultaneously (Fig. 4). This suggests that the natural long-term trends in its population dynamics are dependent on the leading natural factors that affect the entire region. One of such factors is the total abundance of mouse-like rodents, which are the basis of the sables' diet, as well as solar activity and the amount of spring-summer precipitation. An indicator of solar activity is the average annual sum of sunspots, also known as the Wolf number (Sunspot Index ..., 2019).

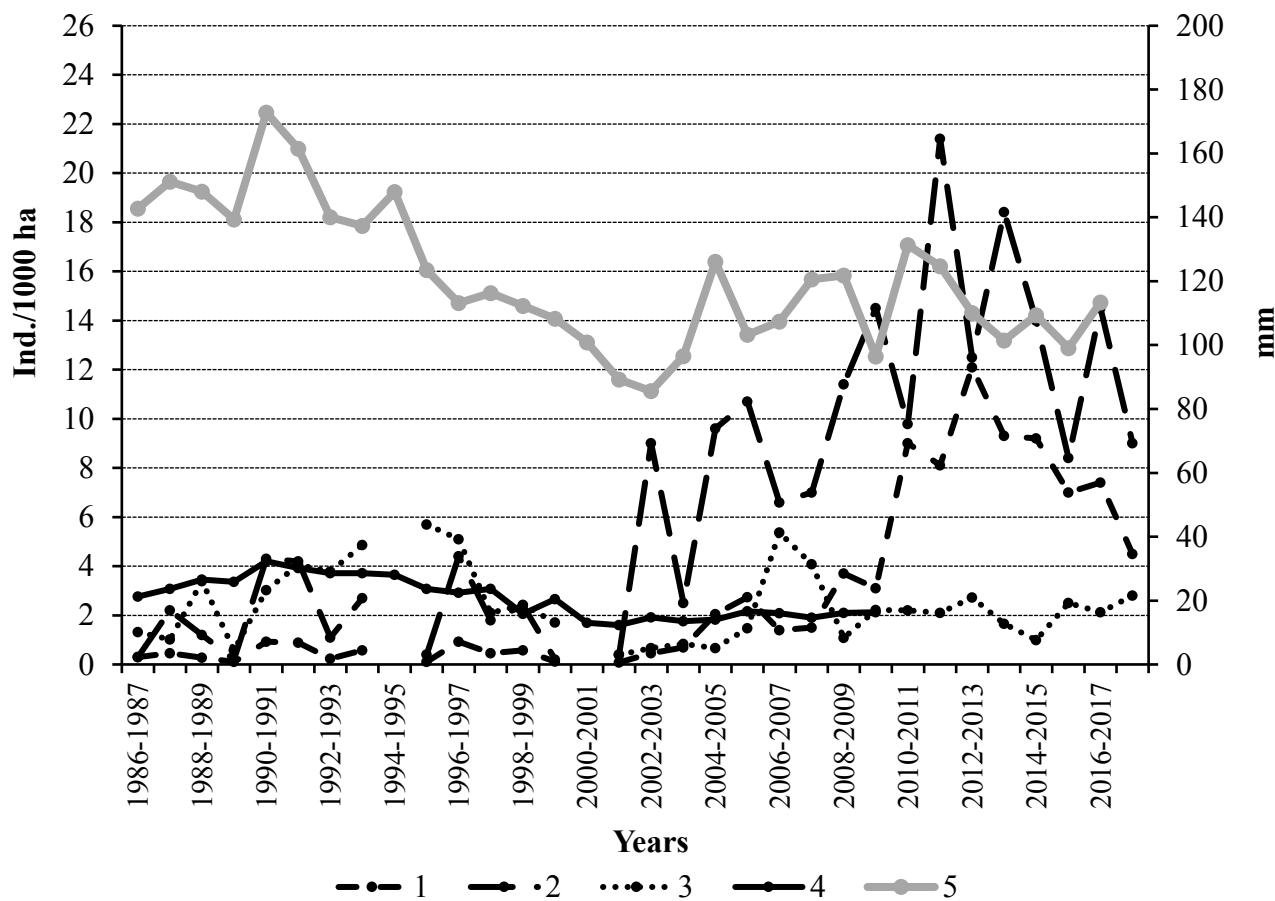


Fig. 3. Dynamic of Siberian roe deer population density in the Zeya Nature Reserve and the Amur Region. Legend: 1 – shores of the water reservoir (“test” plots), 2 – Zeya gorge (southern part of the “test” plots), 3 – low mountains of the southern macroslope of the Tukuringra Ridge outside the shores of large water bodies and streams (“control” plots), 4 – Amur Region (“background”), 5 – sum of May and June precipitation according to the Zeya hydrometeorological station, smoothed by the moving average for 5 years.

Along with the short cycles of 3-6 years in the Zeya Reserve, a long, approximately 30-year-long cycle of population dynamics of mouse-like rodents was registered. Additionally, the long periods of increased sum of rodents are associated with the periods of minimal peaks of 10-year-long cycles of solar activity. And, on the contrary, prolonged depressions of rodents' populations are associated with the periods of maximal Wolf numbers (Fig. 5).

We found a significant negative correlation between the abundance of mouse-like rodents, the long-term trends of solar activity changes ($r = -0.5$, $p = 0.01$) and the amount of spring-summer

precipitation ($r = -0.36$, $p = 0.05$) that was smoothed using a moving average for 11 years (Table 1). It is a common case for the Amur Region to have a direct dependence between long-term humidity cycles and the dynamics of solar activity (Parilov et al., 2006). Intense precipitation in May and June usually disturbs the breeding of rodents, which, in its turn, affects the dynamic trends of the sables' population.

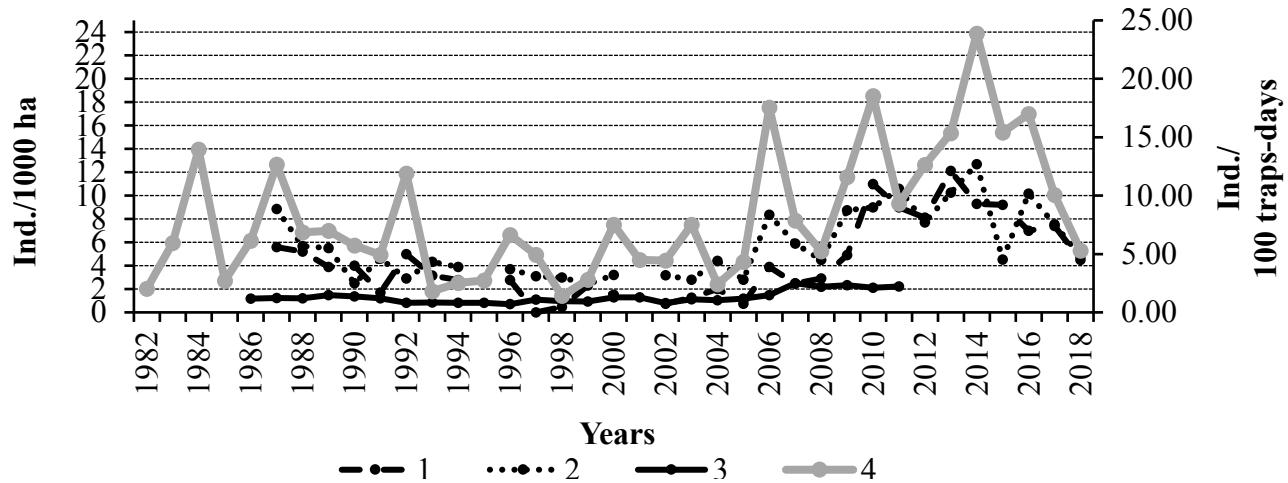


Fig. 4. Dynamic of sable population density in the Zeya Nature Reserve and the Amur Region. Legend: 1 – shores of the water reservoir (“test” plots), 2 – outside the shores of large water bodies and streams (“control”), 3 – Amur Region (“background”), 4 – sum of the mouse-like rodents caught with the spring-loaded bar traps “Hero” according to the autumn results, average for the entire Zeya Reserve.

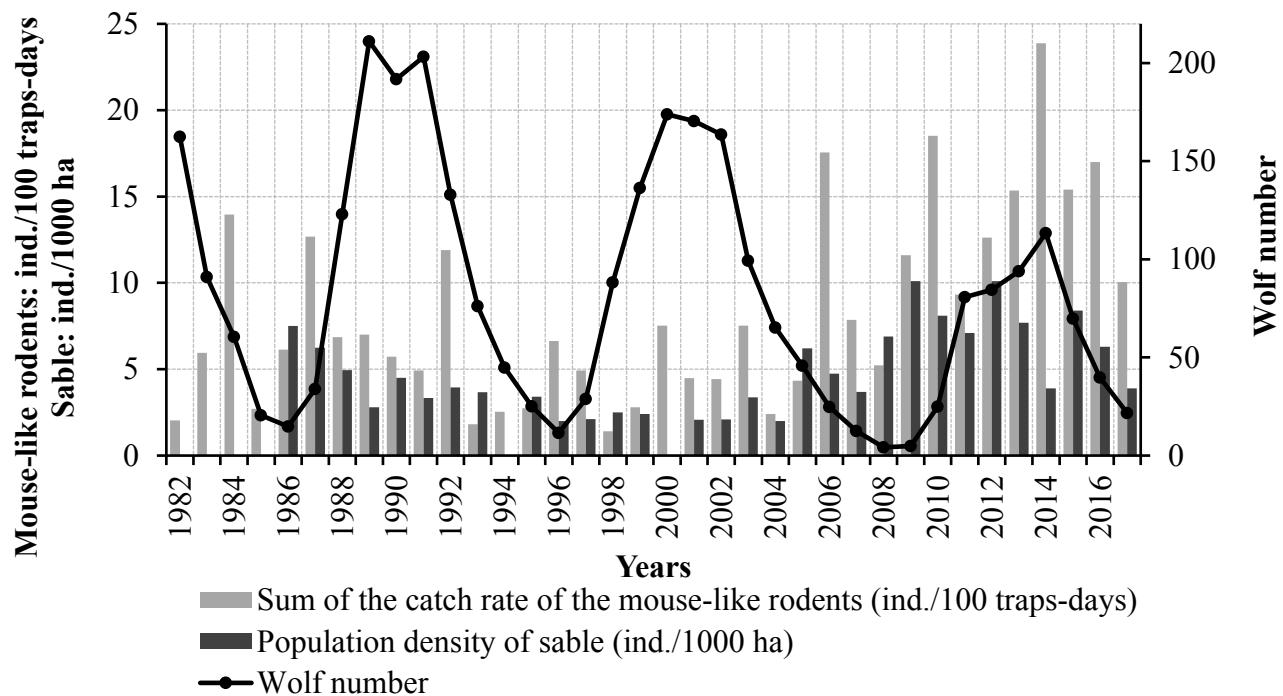


Fig. 5. Dynamic of sable population density in the Zeya Nature Reserve, solar activity and the sum of the mouse-like rodents caught with the spring-loaded bar traps “Hero”.

Table 1. Main indices of the Zeya Reservoir impact on the population groups of the mode; species.

Indices	Model species							
	Siberian musk deer		Elk		Siberian roe deer		Sable	
	Test	Control	Test	Control	Test	Control	Test	Control
Period of maximal impact	1974-2005	—	1974-1999	—	1974-2002	—	1984-2005	—
Approximate time needed for adaptation	30 years	—	25 years	—	28 years	—	20 years	—
Duration of depressions	8 years (1997-2005)	6 years (2000-2005)	7 years (1988-1994)	4 years (1990-1994)	8 years (1996-2004)	6 years (1998-2004)	9 years (1993-2002)	5 years (1994-1999)
Correlation between population dynamic and natural limiting factors	r = 0.03; p > 0.1 (with May and June precipitation of the previous 5 years)	r = 0.45; p = 0.05 (with May and June precipitation of the previous 5 years)	r = 0.06; p > 0.1 (with May and June precipitation)	r = 0.36; p = 0.1 (with May and June precipitation)	r = 0.27; p = 0.1 (with May and June precipitation)	r = 0.39; p > 0.1 (with May and June precipitation)	r = 0.47; p = 0.01 (with the summed population of mouse-like rodents)	r = 0.51; p = 0.001 (with the summed population of mouse-like rodents)
Correlation with the population dynamic in Amur Region	r = -0.03; p > 0.1	r = 0.49; p = 0.05	r = -0.12; p > 0.1	r = 0.22; p > 0.1	r = 0.39; p = 0.1	r = 0.64; p = 0.001	r = 0.42; p = 0.05	r = 0.6; p = 0.001
Fluctuations range of the population density (ind./1000 ha)	0.19 – 10.2	0.4 – 8.8	0.2 – 2.3	0.38 – 1.95	0.1 – 12.1	0.99 – 5.37	0.46 – 15.27	2.42 – 10.57
Times of the max density exceeding the min density	53.7	22.0	11.5	5.1	121.0	5.4	33.2	4.4
Average annual population density (ind./1000 ha)	1.97 (1987-2005)	3.8 (1987-2005)	0.63 (1987-2001)	1.29 (1987-2001)	0.43 (1974-2002)	1.96 (1974-2002)	2.54 (1987-2005)	3.93 (1987-2005)
Average annual losses (ind./1000 ha)	1.83	—	0.66	—	1.53	—	1.39	—
Average annual losses (%)	51.8	—	51.2	—	78.1	—	35.4	—

The depression was the deepest and longest at the shores of the Zeya Reservoir (Fig. 4). The reason for this could be the microclimatic influence of the reservoir that breaks free from ice

too late and warms up too slowly, causing a significant cooling effect on the adjacent territories in spring and early summer (Dyakonov, 1992). An increase in air humidity, a decrease in average monthly temperatures in the spring-summer, and a shift in phenophases worsened the conditions for the rodents' reproduction, caused a long-term decrease in their abundance, and depleted sables' food supply on the slopes of the reservoir shores (Podolsky et al., 2009). Additionally, it was established that the same factors, such as increasing air humidity and decreasing average monthly spring temperatures, led to increased mortality rate in one-year-old animals (Astafiev, 1988). With increasing summer humidity, the cases of dermatitis in sables increase as well (Lobanov, 1977). Gradually, the population groups of mouse-like rodents and sable have been able to partially adapt to the influence of the water reservoir, and the "predator – prey" system on the shore has finally stabilized.

Conclusions

An essential step for an objective characterization of anthropogenic impact of the reservoir on terrestrial vertebrates is a long-term zoological monitoring, which includes observations in the test and control plots, background data on the dynamics of the number of the studied species for the chosen region. Using the example of the Zeya reservoir, we developed a 5-step algorithm to determine the impact that hydro constructions have on model mammal species.

The first step is to restore the chronology of changes in the population density of the model species in the chosen territory and the region in general for the longest period possible. Apart from the data obtained during regular censuses, the literary, fund and survey data is also used. We worked with the sources dating back to 1950 for Siberian musk deer, the 1960s for elk and Siberian roe deer, and the 1920s for sable. Comparison of "test", "control" and "background" data makes it possible to roughly determine the period of "maximal reservoir influence" on each species and the time they needed to partially adapt, which was 30 years for musk deer, 25 years for elk, 28 years for roe deer, and 20 years for sable (Table 1). The reasons for identifying the period of "maximum reservoir influence" were the asynchronization/synchronization of population dynamics, and the abrupt growth/decline of the differences between the population density in the "test" and "control" plots.

The second step is to determine the leading natural factors of population dynamic of the model species. For musk deer, elk and roe deer the main defining factor is precipitation in the beginning of the growing season of May and June that determines the amount of winter food supply and the survival rate of young animals. Due to the slow growth of epiphytic lichens, the main food source for musk deer during winter, the population dynamics of this species is 4-6 years behind the course of spring-summer precipitation. For sable the leading factor is the dynamics of the total number of mouse-like rodents that has a significant negative correlation with the cycles of solar activity and long-term trends of spring-summer precipitation (Fig. 5, Table 1).

The third step is to determine the main factors of the influence that the reservoir causes on the population dynamics of the model species. For musk deer this is the deteriorating conditions of protection, increasing mortality along the shoreline of an artificial reservoir due to various injuries, predators and epizootics. For elks it is the poaching activities and wolves that hunt them on the surface of the frozen reservoir. For roe deer it is the disrupted routes of their seasonal migration, the poaching and increasing hunting pressure from the predators. For sable it is the microclimatic influence that causes a depletion of food supply (decreasing numbers of mouse-like rodents) and leads to growing rates of dermatitis cases.

The fourth step is to identify the common signs of the hydro construction impact on mammals. Each model species found in the influence area of the Zeya reservoir is experiencing prolonged population depressions, low level of correlation between population dynamics and changes in the main limiting factors, reduced population density, and increased amplitude of population

fluctuations. This can be illustrated by objective measurable indicators of the hydro construction impact on the populations of mammals (Table 1).

The fifth step is to quantify the losses in the population groups of the model species under the impact of the reservoir. We decided that the most objective index is the difference between the average population density in the “test” and “control” plots, in % of the “control” level. The average annual population indices were calculated for the period of “maximal reservoir influence”, which matches the time required for partial adaptation of the species, i.e. 20-30 years (Table 1). Every year during that period the population groups of the model species along the mountainous shores of the Zeya reservoir kept losing lots of animals: musk deer – 51.8%, elk – 51.2%, roe deer – 78.1%, sable – 35.4%.

In the end we can confirm that over 20-30 years each of these model species, while being under protection, was able to partially adapt to the construction of Zeya reservoir. Their population dynamics generally recovered on the slopes of its shores, the numbers recovered as well, however, only partially, and the seasonal migrations renewed. But the population density of most of the species and migration activity of roe deer remained significantly lower than it was before the construction.

Funding. This work was carried out within the theme No. FMWZ-2022-0002 of the State Assignment of the Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences “Study of Geoecological Processes in Hydrological Land Systems, Quality Formation of Surface and Ground Waters, Problems of Water Resources Management and Use under Climate Change and Anthropogenic Impacts”.

REFERENCES

1. Avakyan AB, Podolsky SA. On the effect the reservoirs have on animals [K voprosu o vliyanii vodokhranilishch na zhivotnykh] *Water Resources [Vodnyye resursy]*. 2002;29(2):141-151.
2. Astafiev AA. Weather conditions and the effectiveness of sable hunting [Pogodnyye usloviya i rezul'tativnost' promysla sobolya] *Chronological changes in the number of game animals in the RSFSR: Collection of scientific works [Khronologicheskiye izmeneniya chislennosti okhotnich'ikh zhivotnykh v RSFSR: Sbornik nauchnykh trudov]*. Moscow: B. i. S., 1988:137-139.
3. Bromley GF, Kostenko VA, Nikolaev IG, Okhotina MV, Yudin VG, Bratenkov PV. *Mammals of the Zeya Reserve [Mlekopitayushchiye Zeyskogo zapovednika]*. Vladivostok: DVNTS AN SSSR, 1984:139.
4. Darman YuA, Kolobaev NN. The influence of the Zeya Reservoir on ungulates [Vliyaniye Zeyskogo vodokhranilishcha na kopytnykh zhivotnykh] *Phenomena and processes in the natural complex of the Zeya Reserve [Yavleniya i protsessy v prirodnom komplekse Zeyskogo zapovednika]*. Moscow: Presfok, 1993:63-85.

REFERENCES

1. Авакян А.Б., Подольский С.А. 2002. К вопросу о влиянии водохранилищ на животных // Водные ресурсы. Т. 29. № 2. С. 141-151.
2. Астафьев А.А. 1988. Погодные условия и результативность промысла соболя // Хронологические изменения численности охотничьих животных в РСФСР: Сб. научных трудов. М.: Б. и. С. 137-139.
3. Бромлей Г.Ф., Костенко В.А., Николаев И.Г., Охотина М.В., Юдин В.Г., Братенков П.В. 1984. Млекопитающие Зейского заповедника. Владивосток: ДВНЦ АН СССР. 139 с.
4. Дарман Ю.А., Колобаев Н.Н. 1993. Влияние Зейского водохранилища на копытных животных // Явления и процессы в природном комплексе Зейского заповедника. М.: Пресфок. С. 63-

5. Dyakonov KN. Relationship between reservoirs and landscapes of adjacent territories and problems of ecological and geographical expertise [Vzaimodeystviye vodokhranilishch s landshaftami prilegayushchikh territoriy i problemy ekologo-geograficheskoy ekspertizy] Basis of ecological and geographical expertise [Osnovy ekologo-geograficheskoy ekspertizy]. Moscow: Publishing House of MGU, 1992:178-193.
6. Ignatenko SYu, Podolsky SA, Bylkov AF. Monitoring the death of migrating Siberian roe deer in the zone of influence of the Bureya Reservoir and calculating the damage to nearby specially protected natural territories [Monitoring gibli migriruyushchikh kosul' v zone vliyaniya Bureyskogo vodokhranilishcha i raschet ushcherba blizlezhashchim OOPT] Proc. of the VIII Far Eastern Conference on Reserve Management, Blagoveshchensk, 2007 [Materialy VIII dal'nevostochnoy konferentsii po zapovednomu delu]. Blagoveshchensk: Publishing house of BSPU, 2007;1:151-159.
7. Karaseva EV, Telitsyna AYu. Methods for studying rodents in the field [Metody izucheniya gryzunov v polevykh usloviyakh]. Moscow: Nauka, 1996:200.
8. Kuzyakin VA, Chelintsev NG, Lomanov IK. Guidelines for organizing, conducting and processing data from winter route accounting of game animals in the RSFSR [Metodicheskiye ukazaniya po organizatsii, provedeniyu i obrabotke dannykh zimnego marshrutnogo ucheta okhotnic'ikh zhivotnykh v RSFSR]. Moscow: TSNIL Glavokhota RSFSR, 1990:51.
9. Lobanov GI. Influence of summer precipitation on the incidence of dermatitis in sables [Vliyaniye letnikh osadkov na zabolevayemost' soboley dermatitom] Ecology and use of hunting animals of the Krasnoyarsk Territory [Ekologiya i ispol'zovaniye okhotnic'ikh zhivotnykh Krasnoyarskogo kraja]. Krasnoyarsk: AN SSSR, 1977:38-39.
10. Parilov MP, Ignatenko SYu, Kastrikin VA. Hypothesis of the influence of long-term hydrological cycles and global climate change on the population dynamics of the Japanese, White-naped cranes and Far Eastern storks in the Amur River basin [Gipoteza vliyaniya mnogoletnikh hidrologicheskikh tsiklov i global'nogo izmeneniya klimata na dinamiku chislennosti yaponskogo, daurskogo zhuravley i dal'nevostochnogo aista v 85.
5. Дьяконов К.Н. 1992. Взаимодействие водохранилищ с ландшафтами прилегающих территорий и проблемы эколого-географической экспертизы // Основы эколого-географической экспертизы. М.: Изд-во МГУ. С. 178-193.
6. Игнatenко С.Ю., Подольский С.А., Былков А.Ф. 2007. Мониторинг гибели мигрирующих косуль в зоне влияния Бурейского водохранилища и расчет ущерба близлежащим ООПТ // Материалы VIII дальневосточной конференции по заповедному делу. Благовещенск: Изд-во БГПУ. Т. 1. С. 151-159.
7. Карасева Е.В., Телицына А.Ю. 1996. Методы изучения грызунов в полевых условиях. М.: Наука. 200 с.
8. Кузякин В.А., Челинцев Н.Г., Ломанов И.К. 1990. Методические указания по организации, проведению и обработке данных зимнего маршрутного учета охотничьих животных в РСФСР. М.: ЦНИЛ Главохоты РСФСР. 51 с.
9. Лобанов Г.И. 1977. Влияние летних осадков на заболеваемость соболей дерматитом // Экология и использование охотничьих животных Красноярского края. Красноярск: АН СССР. С. 38-39.
10. Парилов М.П., Игнатенко С.Ю., Кастрюкин В.А. 2006. Гипотеза влияния многолетних гидрологических циклов и глобального изменения климата на динамику численности японского, даурского журавлей и дальневосточного аиста в бассейне реки Амур // Влияние изменения климата на

- basseyne reki Amur] Influence of climate change on the ecosystems of the Amur River basin [Vliyaniye izmeneniya klimata na ekosistemy basseyna reki Amur].* Moscow: WWF Rossii, 2006:92-110.
11. Podolsky SA. On the methodology for accounting for large ungulates in the Zeya Reserve [*K metodike ucheta krupnykh kopytnykh v Zeyskom zapovednike*] *Phenomena and processes in the natural complex of the Zeya Reserve: Collection of scientific works [Yavleniya i protsessy v prirodnom komplekse Zeyskogo zapovednika: Sbornik nauchnykh trudov]*. Moscow: Presfok, 1993:64-86.
 12. Podolsky SA Ignatenko SYu, Kastrikin VA, Antonov AI, Parilov MP. Main patterns of the dynamics of the animal population and the features of fauna protection in the zones of influence of large mountain reservoirs of the Far East [*Osnovnyye zakonomernosti dinamiki zhivotnogo naseleniya i osobennosti okhrany fauny v zonakh vliyaniya krupnykh gornykh vodokhranilishch Dal'nego Vostoka*] *Baikal Zoological Journal [Baykal'skiy zoologicheskiy zhurnal]*. 2009;4:98-105.
 13. Podolsky SA. A methodological approach to assessing the significance of natural and anthropogenic factors in the dynamics of the number of ungulates on the example of the zone of influence of the Zeya reservoir [*Metodicheskiy podkhod k otsenke znachimosti prirodnikh i antropogennykh faktorov dinamiki chislennosti kopytnykh na primere zony vliyaniya Zeyskogo vodokhranilishcha*] *Povolzhsky Ecological Journal*. 2013;3:291-303.
 14. Rusanov YaS. Fundamentals of hunting [*Osnovy okhotovedeniya*]. Moscow: Publishing House of Moscow State University, 1986:160.
 15. Filonov KP. Dynamics of the number of ungulates and conservation [*Dinamika chislennosti kopytnykh zhivotnykh i zapovednost'*]. *Hunting [Okhotovedeniye]*. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1977:229.
 16. Shchetinin VI. Mammals of the Zeya Reserve [*Mlekopitayushchiye Zeyskogo zapovednika*] *Problems of Geography of the Far East [Voprosy geografii Dal'nego Vostoka]*. Khabarovsk, 1973;11:137-140.
 17. Sunspot Index and Long-term Solar Observations (SILSO). 2019, Available at <http://www.sidc.be/silso/datafiles/> (Date of Access 20/03/2019).
 11. Подольский С.А. 1993. К методике учета крупных копытных в Зейском заповеднике // Явления и процессы в природном комплексе Зейского заповедника: Сб. научных трудов. М.: Пресфок. С. 64-86.
 12. Подольский С.А., Игнатенко С.Ю., Кастроцин В.А., Антонов А.И., Парилов М.П. 2009. Основные закономерности динамики животного населения и особенности охраны фауны в зонах влияния крупных горных водохранилищ Дальнего Востока // Байкальский зоологический журнал. № 4. С. 98-105.
 13. Подольский С.А. 2013. Методический подход к оценке значимости природных и антропогенных факторов динамики численности копытных на примере зоны влияния Зейского водохранилища // Поволжский экологический журнал. № 3. С. 291-303.
 14. Рusanov Я.С. 1986. Основы охотоведения. М.: Изд-во МГУ. 160 с.
 15. Филонов К.П. 1977. Динамика численности копытных животных и заповедность. Охотоведение. М.: Лесная промышленность. 229 с.
 16. Щетинин В.И. 1973. Млекопитающие Зейского заповедника // Вопросы географии Дальнего Востока. Хабаровск. № 11. С. 137-140.
 17. Sunspot Index and Long-term Solar Observations (SILSO). 2019 [Электронный ресурс: <http://www.sidc.be/silso/datafiles/> (дата обращения 20.03.2019)].

УДК 502.5/8; 502.74; 574.472; 574.91; 574.24

ПОКАЗАТЕЛИ ИЗМЕНЕНИЙ ПОПУЛЯЦИОННЫХ ГРУППИРОВОК МЛЕКОПИТАЮЩИХ ЗОНЫ ВЛИЯНИЯ ЗЕЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ

© 2022 г. С.А. Подольский*, **, Т.А. Доманов**, Е.К. Красикова**,
Л.Ю. Левик***, К.П. Павлова**

**Институт водных проблем РАН*

Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail:sergpod@mail.ru

***Зейский государственный природный заповедник*

Россия, 676246, Амурская область, г. Зея, ул. Строительная, д. 71. E-mail: zzap@mail.ru

****Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

*Россия, 119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ, д. 1, географический факультет
E-mail: lilia-levik@yandex.ru*

Поступила в редакцию 01.06.2022. После доработки 30.08.2022. Принята к публикации 01.09.2022.

На основе многолетних данных Зейского заповедника оценивается значение природных и антропогенных факторов в динамике численности популяционных группировок млекопитающих зоны влияния Зейского водохранилища. В качестве модельных видов выбраны кабарга (*Moschus moschiferus*), изюбрь (*Cervus canadensis*), сибирская косуля (*Capreolus pygargus*) и соболь (*Martes zibellina*). Выделение антропогенной составляющей популяционной динамики проводится на основе сравнительного анализа многолетних рядов «опытных» наблюдений (побережье Зейского водохранилища в пределах заповедника), «контрольных» (заповедник вне побережий) и «фоновых» (Амурская область). Предложен пошаговый алгоритм изучения млекопитающих в зоне влияния крупного гидросооружения. *Первый шаг* – восстановление хронологии изменений плотности населения модельного вида и определение длительности его частичной адаптации к водохранилищу: кабарга – 30 лет, изюбрь – 25 лет, косуля – 28 лет, соболь – 20 лет. *Второй шаг* – определение ведущих природных факторов динамики численности. Для кабарги, изюбря и косули это – осадки начала вегетационного периода (май, июнь), определяющие запас зимних кормов и выживание молодняка; для соболя – динамика суммарной численности мышевидных грызунов, демонстрирующая значимую отрицательную корреляцию с циклами солнечной активности и многолетними тенденциями хода весенне-летних осадков. *Третий шаг* – установление основных факторов влияния водохранилища на динамику численности модельных видов. Для кабарги это – ухудшение защитных условий, рост смертности на побережье искусственного водоема от травм, хищников и эпизоотий; для изюбря – браконьерство и гибель от волков на льду водохранилища; для косули – нарушение путей сезонных миграций, браконьерство и рост пресса охоты хищников; для соболя – микроклиматическое влияние водохранилища, ведущее к росту заболеваемости и обеднению кормовой базы за счет снижения численности мышевидных грызунов. *Четвертый шаг* – выделение общих признаков влияния гидростроительства на млекопитающих. Для всех модельных видов в зоне влияния Зейского водохранилища отмечены повышенная длительность популяционных депрессий; пониженный уровень корреляции динамики численности с изменениями основных лимитирующих природных факторов; пониженная плотность населения; повышенная амплитуда колебаний численности. *Пятый шаг* – количественная оценка влияния водохранилища на модельные виды. В качестве показателя взята разность между средней (за период адаптации) плотностью населения на «контрольных» участках и на побережьенского водоема, выраженная в % от «контрольного» уровня. Средние ежегодные потери составили для кабарги – 51.8%, для изюбря – 51.2%, для косули – 78.1%, для соболя – 35.4%. При условии охраны все модельные виды за 20-30 лет смогли частично адаптироваться к появлению Зейского

водохранилища: популяционная динамика в целом восстановилась, но плотность населения и миграционная активность остались существенно ниже исходных.

Ключевые слова: гидростроительство, оценка влияния, модельные виды, кабарга, изюбрь, косуля, соболь, мышевидные грызуны, динамика численности, солнечная активность, осадки.

DOI: 10.24412/2542-2006-2022-3-104-119

EDN: KJNMJP

ЭКОСИСТЕМЫ БАССЕЙНА ОЗЕРА БАЙКАЛ: ЦИФРОВАЯ КАРТА И ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ БАЗА ДАННЫХ

© 2022 г. С.Н. Бажа*, А.В. Андреев*, Е.А. Богданов*, Е.В. Данжалова*,
Ю.И. Дробышев*, И.А. Петухов*, Ю.А. Рупышев**

*Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН
Россия, 119071, г. Москва, Ленинский просп., д. 33. E-mail: monexp@mail.ru
**Институт общей и экспериментальной биологии Сибирского отделения РАН
Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6. E-mail: rupyshev@mail.ru

Поступила в редакцию 14.06.2022. После доработки 01.08.2022. Принята к публикации 01.09.2022.

Цифровая карта «Экосистем бассейна оз. Байкал» масштаба 1:500000 составлена методом дешифрирования актуальных материалов космической съёмки с использованием ранее созданных разномасштабных материалов тематического картографирования отдельных территорий в границах бассейна и авторских полевых описаний экосистем и растительности. На карте отражены состав, структура и современное состояние наземных экосистем, показаны новые сильно расширившиеся по сравнению с картографическими данными прошлых лет площади антропогенных экосистем. Легенда карты включает 71 видел экосистем, соответствующих ландшафтным единицам урочище/подурочище.

Для отображения пространственной вариабельности природных компонентов экосистем были разработаны соответствующие цифровые слой-карты (объединённые ГИС): морфогенетических типов рельефа, почвенного покрова и растительности бассейна, разработанные на основе интерполяции различных опубликованных тематических данных и дополненные сведениями из архивов и материалов более чем 50-летнего полевого изучения почв и растительного покрова Совместной Российско-Монгольской комплексной биологической экспедицией Российской академии наук и Монгольской академии наук (СРМКБЭ).

Созданная пространственная база данных объемом 5.1 Гб представляет собой картографический Веб-сервис. Она предназначена для открытого использования на любых персональных компьютерах, рабочих станциях, ноутбуках, планшетах, смартфонах работающих на ОС Windows и Android, в том числе мобильных, имеющих доступ в интернет. В базу данных включена пространственная информация об экосистемах и их антропогенной нарушенности по 9 модельным полигонам (масштабы 1:200000 и крупнее) и 9 ключевым участкам (масштабы 1:5000-1:10000), а также по 1757 геоботаническим описаниям.

Ключевые слова: бассейн оз. Байкал, геоинформационное экологическое картографирование, экосистемы, дешифрирование, антропогенные факторы, база данных, ГИС.

DOI: 10.24412/2542-2006-2022-3-120-171

EDN: FZDSSD

Байкал – крупнейшее пресноводное озеро Азии, содержащее свыше 20% мировых запасов пресных вод, самое глубокое озеро нашей планеты. Озеро является объектом Всемирного природного наследия ЮНЕСКО (фото 1). Оно имеет тектоническое происхождение, расположено в Байкальской рифтовой зоне.

Бассейн оз. Байкал площадью 576.5 тыс. км² является составной частью водосборного бассейна Северного Ледовитого океана. Территория бассейна, достигающая в меридиональном направлении 1200 км, а в широтном – 950 км, располагается в пределах границ двух государств – России и Монголии.

Значительная площадь бассейна Байкала, находящегося на стыке таёжных гор Южной Сибири и горных степей Монголии, влияние соседних природных регионов Западной

Сибири, Дальнего Востока, Китая и Центральной Азии, чередование различных форм рельефа, экологических факторов и деструктивное воздействие хозяйственной деятельности, создали условия для формирования высокого многообразия ландшафтов и слагающих их экосистем, в том числе растительного покрова, флоры и фауны региона. Только в пределах российской части бассейна ботаниками выделяется 5 региональных формаций растительности: Южносибирская, Северомонгольская, Среднесибирская, Центральноазиатская, Байкало-Джугджурская, различия между которыми проявляются на уровне растительных сообществ и их сочетаний в пределах каждого высотного пояса и среди гидроморфной растительности (Белов и др., 2015).



Фото 1. Озеро Байкал в Бурятии (здесь и далее фото авторов статьи).

Photo 2. Baikal Lake in Buryatia (all photos are provided by the authors).

С экономической точки зрения бассейн Байкала является динамично развивающимся регионом Южной Сибири и Северной Монголии. Здесь сосредоточена большая часть населения Республики Бурятия и Монголии, интенсивно развивается горнодобывающая и лесообрабатывающая промышленность. Для монгольской части бассейна характерна интенсификация сельскохозяйственного использования биоресурсов: быстрый прирост поголовья скота и расширение площадей богарного земледелия. Высокая степень хозяйственной освоенности территории, несомненно, оказывает как прямое, так и косвенное воздействие на природную среду региона, провоцируя развитие деградационных процессов в экосистемах (Тулохонов, 1996; Экосистемы ..., 2005; Водные экосистемы ..., 2009; Антропогенная ..., 2012). Происходящие в настоящий момент активные социально-экономические преобразования в регионе зачастую приводят к возникновению спорных ситуаций, как среди научного сообщества, так и среди местного населения. Такие последствия принятых решений вызваны, прежде всего, недостаточностью полной, актуальной и легкодоступной информации о современном устройстве и функционировании природно-территориального комплекса (ПТК) байкальского бассейна на разных уровнях организации.

Необходимость усиления природоохранной деятельности при рациональном
ЭКОСИСТЕМЫ: ЭКОЛОГИЯ И ДИНАМИКА, 2022, том 6, № 3

использовании совокупности адаптивных способов и методов организации хозяйственной деятельности в бассейне Байкала – одна из приоритетных задач, стоящих перед Россией и Монголией. Существенную роль при этом должна сыграть и новая цифровая база данных «ГИС Экосистемы бассейна оз. Байкал» (2022).

Объект картографирования

Географическое положение. В России бассейн занимает площади в Иркутской области, Забайкальском крае, Республике Тыва и большую часть Республики Бурятия (рис. 1а). В границах Монголии территория бассейна охватывает Хубсугульский, Архангайский, Булганский, Орхонский, Селенгинский, Дархан-Уулский и Товский аймаки, административный регион – город Улан-Батор, а также частично земли Завханского, Увэрхангайского, Баянхонгорского и Хэнтэйского аймаков.



Рис. 1а. Местоположение бассейна оз. Байкал. **Fig. 1a.** The location of the Baikal Lake basin.
ЭКОСИСТЕМЫ: ЭКОЛОГИЯ И ДИНАМИКА, 2022, том 6, № 3

Границы территории бассейна оз. Байкал проходят по траверсам гребней водораздельных хребтов и верхним уровням водосборных плато. На северо-западе (от восточной окраины хр. Сангилен), севере и востоке Байкальский бассейн граничит с бассейнами рек Енисея и Лены, также несущих свои воды в Северный Ледовитый океан. На юго-востоке проходит водораздел с бассейном Тихого океана (р. Амур). К югу, юго-западу и западу от бассейна оз. Байкала простирается обширный бессточный бассейн Центральной Азии, включающий природные регионы Средняя Халха, Долина Гобийских озёр и Котловина Больших озёр (рис. 1б).

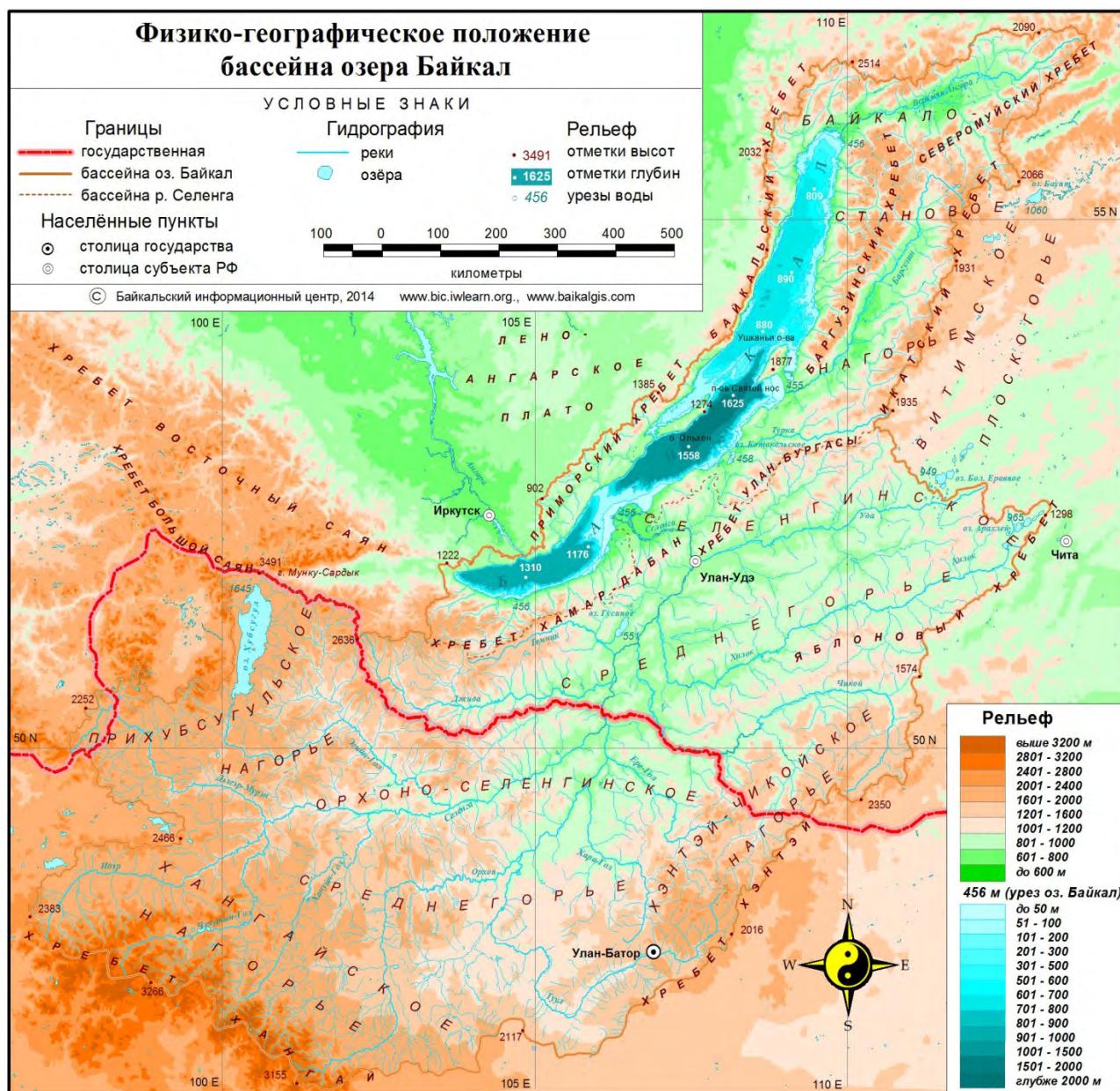


Рис. 1б. Физико-географическое положение бассейна озера Байкал (Доклад ..., 2015).
Fig. 1b. Physical-geographical location of the Baikal Lake basin (Report ..., 2015).

Рельеф и гидрография. Для территории бассейна характерна значительная контрастность орографического устройства, экологических условий и разноплановость антропогенного влияния, которые предопределили высокое разнообразие ландшафтов, состава и структуры

экосистем, в том числе многообразие растительного покрова. Здесь полностью преобладает горный рельеф с выраженной дифференциацией природно-территориальных комплексов по высотно-климатическим поясам. Условия для формирования субравнинных экосистем создаются лишь в межгорных долинах и котловинах.

Водосборная территория, рельеф которой представлен разнонаправленными горными хребтами и высокими платообразными поверхностями, осложнён различными гидрогенными и отрицательными тектоническими формами: транзитными речными долинами, влажными и заболоченными межгорными котловинами, сухими внутригорными и межгорными долинами и котловинами, тектоническими прогибами и впадинами, разделяющими главные горные сооружения.

Перепад высот от поверхности оз. Байкал до наивысшей точки (3539.9 м н.у.м. БС) на главном Хангайском хребте составляет около 3100 м.

К северу от озера хребты Станового нагорья (Верхнеангарский, Северо-Муйканский, Делюн-Уранский) редко превышают абсолютные отметки в 2000 м н.у.м. БС, но имеют альпинотипные формы рельефа со скалистыми глубокими древнеледниковыми долинами. Многочисленные реки и ручьи, стекающие с горных склонов хребтов Станового нагорья, дают начало Верхней Ангаре – второй по значимости реке, впадающей в Байкал. Средняя и нижняя часть течения реки проходит по Верхнеангарской котловине, где приобретает равнинный характер. Впадает в Байкал (его северную часть), образуя большой мелководный залив – Ангарский сор, отделённый от основной акватории озера широкой песчаной косой.

Истоки ещё одной мощной реки, впадающей в Байкал – Баргузин, находятся на стыке вершин Южно-Муйского и Икатского хребтов. На выходе из горной долины река попадает в относительно небольшую Амутскую котловину, а затем течёт по обширной Баргузинской котловине, приобретая типичный облик равнинной реки, с хорошо разработанной разноуровневой поймой (фото 2). Основные притоки Баргузин принимает с округловершинного Икатского хребта.

С окружающих Байкал горных хребтов (островершинные альпинотипные – Хамар-Дабан и Баргузинский и слаборасчленённые с округлыми вершинами – Улан-Бургасы, Приморский и Байкальский) в озеро стекает ещё более 300 небольших рек, наиболее протяжёнными среди них являются Турка и Снежная (фото 3).

Самая крупная водная артерия, питающая Байкал – это р. Селенга, берущая начало в высокогорьях Монголии и через 1024 км впадающая в Байкал на территории России (в Бурятии), образуя обширную болотисто-луговую дельту с многочисленными протоками и мелкими пойменными озёрами, растущую за счёт оседающей здесь большей части терригенного стока, приносимого рекой (фото 4). Селенга даёт около половины объёма воды, пополняющей озеро. Площадь её водосборного бассейна составляет свыше 77% от площади байкальского бассейна. В России расположен меридиональный равнинный отрезок течения Селенги. Здесь её главные правые притоки – Уда, Хилок стекают со склонов невысоких пологовершинных хребтов и из озёр Витимского плоскогорья и, частично, с восточной части Яблонового хребта на западе Забайкалья, откуда принимают многочисленные притоки, и текут в широких хорошо разработанных долинах. Самый крупный правый приток – пограничная р. Чикой (и притоки её верховья) начинается на Хэнтэй-Чикойском нагорье. Чикой течёт к Селенге, отделяя Малхатский хребет от северных отрогов Хэнтэйского нагорья.

Горные хребты, расположенные западнее меридионального отрезка течения Селенги, имеют широтное простижение и ассиметричные склоны (крутие южные и покатые северные), а также пологие вершины и разделены глубоко врезанными долинами рек – левых притоков Селенги, истоки которых находятся на южном макросклоне хр. Хамар-Дабан: р. Темник (разделяет хребты Хамар-Дабан и Малый Хамар-Дабан) и р. Джигда

(между хребтами Малый Хамар-Дабан и Джидинский), собирающие многочисленные горные притоки с окружающих склонов. Часть стока р. Темник попадает в крупное пресное озеро Гусиное, расположенное в долине Селенги.



Фото 2. Река Баргузин у подножья одноимённого хребта.
Photo 2. The Barguzin River at the foot of the Barguzin Range.



Фото 3. Баргузинский хребет. **Photo 3.** Barguzin Range.

В Монголии бассейн Селенги включает большие части территорий крупнейших горных систем – Хангайского и Хэнтэйского нагорий, западного и восточного Прихубсугулья.

Селенга образовалась в результате слияния (на западе монгольской части бассейна) двух мощных горных рек Дэлгэр-Мурэн и Идэр (с правым притоком Чулутын-Гол). Истоки Дэлгэр-Мурэна находятся в высокогорьях (до 3000-3300 м н.у.м. БС) альпинотипных хребтов западного Прихусугулья: Хан-Тайга, Улан-Тайга, Хорьдолын-Сарьдик-Нуру и гольцах хр. Сангилен. К югу, пройдя среднегорные сглаженные с хорошо разработанными межгорными долинами предгорья, река приобретает широтное направление и проходит по котловинно-сопочному Предхангайскому прогибу и, обогнув каменистые сильнорасчленённые северные отроги Хангая (хр. Эрчимин-Нуру), соединяется с Идэром (фото 5).

Идэр берёт начало в высокогорных гольцах западной части главного Хангайского хребта, течёт на север через сглаженные средневысотные предгорья, поворачивает на восток, разделяя своей глубоко врезанной разработанной долиной высокогорные хангайские хребты Булнай (на севере) и Тарбагатай (на юге), имеющие округлые гольцовье вершины, достигающие 2600-3200 м н.у.м. БС, и крутые склоны к глубоким долинам небольших горных рек – притоков Идэра (фото 6).

В бассейне Селенги расположено самое большое и глубокое пресноводное озеро Монголии Хубсугул. Лежит в той же рифтовой тектонической зоне, что и Байкал (фото 7). Из Хубсугула также вытекает единственная река Эгийн-Гол – левый приток Селенги (фото 8). С запада и севера озеро окаймляют высокие каменистые с альпийскими формами вершин хребты Баян Ула (с абсолютными высотами до 3000-3200 м н.у.м. БС) и Мунку Сарьдик (до 3200-3500 м н.у.м. БС; фото 9).



Фото 4. Река Селенга вблизи Российско-Монгольской границы.

Photo 4. The Selenga River near the Russian-Mongolian border.

От восточного побережья Хубсугула далеко к востоку простираются разнонаправленные средневысотные сглаженные хребты восточного Прихусугулья, приближающиеся к абсолютным высотам 3000 м н.у.м. БС лишь на водораздельных северных грядах. Горы средне расчленены хорошо разработанными речными долинами и чередуются с неглубокими

внутригорными котловинами. Эгийн-Гол рассекает восточное Прихубсугулье с запада на восток, собирая с него все стоки, и впадает в Селенгу у западной оконечности широтного хребта Бутэлийн-Нуруу, который аналогичен расположенному севернее Джидинскому хребту. Эти хребты разделяет широкая долина р. Зэлтэр – правого притока Джиды (фото 10).



Фото 5. Река Дэлгэр-Мурэн в среднем течении.
Photo 5. The Delger-Muren River in its middle reaches.



Фото 6. Река Идер у подножья хр. Тарбагатай.
Photo 6. The Ider River at the foot of the Tarbagatai Ridge.



Фото 7. Озеро Хубсугул. **Photo 7.** Khuvsugul Lake.



Фото 8. Река Эгийн-Гол. **Photo 8.** The Egiin Gol River.



Фото 9. Хребет Мунку Сардык. **Photo 9.** Munku Sardyk Ridge.



Фото 10. Река Зэлтэр. **Photo 10.** The Zelter River.

Главный Хангайский водораздельный хребет, абсолютные высоты которого в среднем превышают 3000 м н.у.м. БС, имеет каменисто-щебнистые куполообразные вершины (фото 11). Его северный макросклон, постепенно снижаясь к внутригорным котловинам и долинно-грядовым среднегорным сооружениям восточного Хангая, разделяется глубокими долинами горных рек на отдельные меридиональные гряды. От расположенного севернее хр. Тарбагатай Хангайский хр. отделён широкой котловиной оз. Тэрхийн-Цаган, сложенной породами древнеледникового и вулканического происхождения. Это крупное пресноводное

озеро образовалось в постледниковый период в результате перекрытия речного стока лавой извергавшихся вулканов (фото 12).



Фото 11. Вершины главного Хангайского хребта. **Photo 11.** Peaks of the main Khangai Range.



Фото 12. Озеро Тэрхийн-Цаган-Нур. **Photo 12.** Terkhiin-Tsagaan-Nur Lake.

На верхнем отрезке течения Селенга принимает только один крупный приток – Хануй-Гол, истоки которого находятся на главном Хангайском хребте. Далее на восток Селенга течёт в расширяющейся до 20-30 км межгорной долине, всё более приобретая характер равнинной реки с многоуровневой поймой и широкими надпойменными террасами.

Долина Селенги разделяет среднегорные со сглаженными формами вершин и склонов хребты Бутэлийн-Нур и Бурэн (северо-восточное продолжение Хангая).

Перед поворотом русла на север вблизи государственной границы Селенга сливается с крупнейшим правым притоком, самой протяжённой реки Монголии (1124 км) – Орхон (фото 13). Он тоже берёт начало в скалистых высокогорьях восточной оконечности главного Хангайского хребта. При выходе с гор река проходит по широкой плоской засолённой и сырой депрессии – Приорхонской впадине, на выходе из которой получает крупный левый приток – р. Тамирын-Гол. Вскоре река меняет направление на широтное, течёт в узком глубоком каньоне, отделяя хр. Бурэн от разрозненных широкими межгорными долинами и котловинами низких и средневысотных горных сооружений массива Бургут. На всём пути к Селенге Орхон больше не получает ни одного значительного притока слева, но в него впадает несколько больших правых притоков, истоки которых расположены в высокогорьях Хэнтэйского нагорья – одного из крупнейших горных массивов Монголии.



Фото 13. Река Орхон перед слиянием с Селенгой.
Photo 13. The Orkhon River meeting the Selenga River.

Горные системы Хангая и Хэнтэя разделяет крупный межгорный прогиб – Нижне-Орхонская депрессия, в которой межгорные сухие и транзитные долины, обширные межгорные котловины чередуются с невысокими горными грядами и мелкосопочниками. По днищу депрессии на север протекает Орхон.

Самый южный и мощный правый приток Орхона – р. Тола, покинув Хэнтэйские горы течёт на юго-запад в широкой хорошо сформированной долине (фото 14), затем, резко повернув на север через горы Бургут, устремляется к Орхону. Южная граница бассейна Толы образует южную границу всего Байкальского бассейна и затем проходит по среднегорным юго-западным отрогам Хэнтэя, скалистым вершинам Унджульского хребта (фото 15) и далее на запад по разрозненным низкогорным массивам до восточных отрогов главного Хангайского хребта.



Фото 14. Долина р. Тола. **Photo 14.** The valley of the Tola River.



Фото 15. Унжуульский хребет. **Photo 15.** Unjuul Range.

Ещё несколько значительных правых притоков Орхона – реки Хара-Гол, Шарын-Гол и Еро начинаются с каменистых округлых гольцов и курумов Хэнтэя, пересекают в глубоко врезанных долинах его западные средневысотные отроги и, выйдя в Нижне-Орхонскую депрессию, сливаются с водами Орхона.

В Бурятии наиболее значительные песчаные наносы располагаются на предгорных шлейфах Баргузинской котловины (Куйтуны) и примыкающих пологих склонах хр. Икатский, в низовьях долины Уды, на пологих придолинных склонах и речных террасах бассейна нижнего течения Чикоя (в т.ч. массив «Большие пески») и в долине Селенги. В Монголии массивы эоловых песчаных отложений широко распространены на террасах в долинах Идэра, Селенги и её правого притока Боро-Гол, низовьев Орхона и Хара-Гола (в т.ч. массив «Салхит»), южного отрезка течения Толы и в бассейне её левого притока Харухын-Гол (включая массив «Монголын Элс», фото 16). Мощными плащами эоловых песков перекрыты примыкающие к долинам Селенги и Орхона окраинные северо-восточные склоны хребтов Бутэлийн-Нуру, Джаргалант (восточное окончание хр. Бурэн) и низкие пологие северо-западные отроги Хэнтэя.



Фото 16. Полузакреплённые пески «Монголын Элс» (Булганский аймак Монголии).
Photo 16. Semi-fixed sands «Mongol Els» (Bulgan Aimag, Mongolia).

Крупнейшими межгорными депрессиями в бассейне Байкала являются болотисто-лесная Верхнеангурская котловина, опесчаненная пойменно-степная Баргузинская котловина (фото 17), степной Предхангайский прогиб, пойменно-степная Приорхонская впадина и

лесостепная Нижне-Орхонская депрессия. На юге, на левобережье р. Тола группу средневысотных степных хребтов, протянувшихся от Хэнтэя в западном направлении более чем на 200 км, разделяют крупные межгорные котловины (Налайхская, Зунмодская, Унджульская), а к югу от хр. Бургут протянулась плоская засолённая долина р. Харухын-Гол.



Фото 17. В Баргузинской котловине. **Photo17.** Inside the Barguzin Hollow.

Горные массивы Прихубсугулья, Хангая и Прибайкалья характеризуются высокой сейсмичностью (Экологический ..., 2015). Наглядные следы недавней вулканической деятельности наблюдаются, кроме котловины оз. Тэрхийн-Цаган, также в истоках Орхона и Дэлгэр-Мурэна, в районе среднего течения рр. Чулутын-Гол и Хануй-Гол, вдоль широтного отрезка течения Орхона (фото 18, 19) и др.

Особенности развития и распространения почвенно-растительного покрова. Большое влияние на состав и структуру почвенно-растительного покрова оказывает повсеместное распространение многолетней и островной мерзлоты, что, в первую очередь, связано с особенностями резкоконтинентального климата: продолжительной сильными морозами зимой и умеренно-тёплым летом, а в долинах и котловинах южной половины бассейна – также с длительным застоем зимой морозного воздуха на фоне незначительной толщины снежного покрова. Сильные ветры, особенно в весенний период, в степных районах Монголии и котловинах Бурятии способствуют перемещению больших масс песка на значительные расстояния, образованию песчаных форм рельефа, распространению лёгких почв и формированию псаммофитных растительных сообществ. Существенное усиление к югу общей аридности климата (увеличение инсоляции, снижение количества осадков) привело к формированию в горах южнее Байкала высотного лесостепного пояса с чёткой экспозиционной дифференциацией экосистем: лесных – на северных (теневых) склонах и степных – на южных (хорошо освещённых). Состав, высотное положение и площадь распространения горных природных поясов зависит от высоты горных сооружений, широты местности и климатических региональных особенностей территории.



Фото 18. Ущелье р. Чулутын-Гол. **Photo 18.** The canyon of the Chulutyn Gol River.

К северу и северо-востоку от Байкала на вершинах гор с альпинотипными формами рельефа среди скал, каменистых россыпей и троговых долин на хрящеватых торфянисто-суглинистых почвах встречаются разреженные группировки криопетрофитов, небольшие фрагменты дриадовых, лишайниковых, осоково-ерниковых тундр, подгольцовых редколесий, куртин кедрового стланика и нивальных луговин. Близкие по составу почв и растительности сочетаются на альпинотипных вершинах Хамар-Дабана и гор западного Прихубсугулья.

На гольцовых округлых каменистых вершинах высоких гор к востоку от Байкала, в Забайкалье, восточном Прихубсугулье, на Хэнтэе, хребтах Джидинский и Тарбагатай преобладают горные тундры и ерники на разных типах горно-тундровых почв, сочетающиеся с подгольцовыми редколесьями, кобрезиевыми пустошами, каменистыми россыпями и курумами.

Подгольцовые редколесья наиболее широко распространены в северо-восточной и восточной части российской части бассейна. Кедровостланиковые, лиственничные, кедровые, еловые и пихтовые разреженные низкорослые древостои обычно сочетаются с ерниками, горными тундрами и каменистыми россыпями.

Широкое распространение в горах кедрового стланика, образующего самостоятельные густые заросли на верхних уровнях лесного пояса, или входящего в состав многих

высокогорных и лесных сообществ, является характерной особенностью ландшафтов бурятской и забайкальской частей бассейна оз. Байкал.



Фото 19. Тектогенный каньон р. Орхон. **Photo 19.** The tectogenic canyon of the Orkhon River.

В условиях более сухого климата в высокогорьях Хангая и Сангилена на каменисто-щебнистых вершинах сформировались разреженные группировки высокогорных криопетрофитов и (на более низком высотном уровне) сообщества криофильных высокогорных кобрезиевых и влажных осоковых лугов на горно-луговых альпийских (и субальпийских) почвах (фото 20). По южным сухим хорошо освещённым склонам высокогорья этих горных массивов и хребтов Тарбагатай, Булнай и Сангилен на горно-лугово-степных и высокогорно-степных грубогумусных почвах развиваются кобрезиево-мелкодерновиннозлаковые сообщества высокогорных степей (Доржготов, 1992).

Лесной пояс охватывает практически всю горную территорию российской части байкальского бассейна (исключая предгорную часть Баргузинской котловины, долину Селенги и нижние отрезки долин её главных притоков), а в Монголии – среднегорья Хэнтэя, восточного Прихубсугулья (фото 21), верхние уровни хребтов Джидинский, Бутэлийн-Нуру и Бурэн.

В бассейне Верхней Ангары, на Становом нагорье, хребтах северо-западного и юго-восточного побережий Байкала преобладают леса северотаёжных (кустарничковые, моховые, бадановые, стланиковые, рододендровые) и среднетаёжных (травяно-зеленомошные, травяные, разнотравно-брусличные) типов на горно-таёжных почвах разной степени и глубины мерзлотности, мощности и каменистости. Преобладают лиственничные (лиственницы даурская, сибирская) и кедровые древостоя. На щебнистых и опесчаненных экотопах преимущественно южных экспозиций распространены сосновые леса. Существенно меньшие территории занимают еловые и пихтовые насаждения. Таёжные леса со склонов гор спускаются на предгорные шлейфы и в поймы рек Верхнеангарской, северной части Баргузинской котловин и в днища горных долин, где часто развиваются в условиях пойменного и избыточного грунтового увлажнения. Южнее хребтов Хамар-Дабан и Улан-

Бургасы горно-таёжные лиственничные и кедровые леса остаются лишь на верхних уровнях северных склонов среднегорных хребтов, а в горах монгольской части бассейна Байкала кедровые леса сохраняются только на вершинах самых высоких горных сооружений (фото 22). На нижних уровнях теневых склонов распространены лиственничные и сосновые травяные леса южнотаёжных (псевдотаёжных) типов на дерново-лесных сезонно-мерзлотных щебнистых и каменистых почвах. Сосновые леса на песчаных отложениях и щебнистых южных склонах в котловинах обычно имеют остеинённые травяной и кустарниковый ярусы (фото 23).



Фото 20. Коброзиевые луга на Хангае. **Photo 20.** Kobresia meadows in the Khangai Mountains.

К югу от этих двух хребтов на склонах (преимущественно южных экспозиций) горных долин притоков Селенги, начинают развиваться экосистемы горных степей. Формируется горный лесостепной пояс, который прослеживается до южной границы бассейнов Толы и Орхона (фото 24). Лесостепные и степные экосистемы отмечены и в более северных широтах, по днищам обширных межгорных котловин: на пологих опесчаненных предгорных шлейфах Икатского хребта в Баргузинской котловине, на байкальском острове Ольхон и примыкающих к нему участках побережья.

Площади лесов с продвижением на юг неизменно сокращаются. Вдоль южной границы бассейна Байкала на привершинных северных горных склонах остаются лишь островные участки травяных лиственничников и заросли кустарниковых берёз. Напротив, площади степных экосистем, приуроченные вначале к южным склонам, расширяются, переходя на все хорошо освещённые склоны, прислоновые шлейфы, террасы, поднимаясь далее на нижние уровни теневых склонов. В северной и центральной частях пояса горные луговые (умеренно-влажные) степи, чередующиеся с горными остеинёнными лугами на горных чернозёмах и горные умеренно-сухие степи на горных тёмно-каштановых почвах сменяются у южных границ бассейна горными сухими степями на горных каштановых почвах. На горных

склонах значительные площади занимают петрофитные варианты степной растительности. Наиболее масштабно лесостепной пояс развит на приселенгинских хребтах в Бурятии, юго-западе Прихубсугулья, всех хребтах Хангайского нагорья и западных отрогах Хэнтэя.



Фото 21. Горная лиственничная тайга восточного Прихубсугулья.

Photo 21. Mountain larch taiga in the Eastern Khuvgul Region.



Фото 22. Лиственнично-кедровый лес на привершинном склоне хр. Джаргалант (северо-восточный Хангай). **Photo 22.** Larch-cedar forest on the slope near the Jargalant Ridge top (Northeastern Khangai Mountains).



Фото 23. Остепнённый сосняк на опесчаненных склонах левого берега р. Чикой.
Photo 23. Steppified pine forest on the sandy slopes of the left bank of the Chikoy River.



Фото 24. Горная лесостепь в горном массиве Бургут (Монголия).
Photo 24. Mountain forest-steppe on the Burgut Mountain Range (Mongolia).

В результате пожаров, бесконтрольных рубок и деятельности насекомых-вредителей на всей территории лесного и лесостепного поясов в бассейне Байкала большие площади коренных хвойных лесов были уничтожены и сменились вторичными мелколиственными (берёза, осина) и смешанными древостоями (фото 25).



Фото 25. Вторичные древостоя на месте сгоревших сосновых лесов (хр. Бутэлийн-Нуру).

Photo 25. Secondary forest on the site of burnt pine forests (Buteliin-Nuru Ridge).

Степной пояс хорошо представлен к югу от Байкала в условиях псевдоравнинного рельефа: в безлесных широких долинах крупных рек, устьевых частях долин их притоков, в Нижне-Орхонской депрессии, Приорхонской впадине, Предхангайском прогибе, по котловинам в бассейне Толы и другим сухим депрессиям. Луговые степи приурочены в них (в северной и центральной частях пояса), главным образом, к присклоновым участкам (фото 26). Умеренно-сухие степи распространены по предгорным шлейфам долин, останцовым низкогорьям и мелкосопочникам. Сухие степи на каштановых почвах преимущественно занимают нижние участки пролювиальных шлейфов и речные надпойменные террасы в центре и на юге степной территории (фото 27). На правобережных шлейфах южного отрезка долины Толы отмечены фрагменты многокорешковолуковых степей на светло-каштановых почвах. На сухих сильно опесчаненных экотопах в межгорных котловинах и речных долинах формируются сухостепные псаммофитные сообщества с доминированием караган – мелколистной или Бунге (фото 28). Все степные сообщества под воздействием чрезмерных пастбищных нагрузок образовали различные пасторальные модификации в которых доминируют сбоевыносливые виды степных растений (фото 29).

Гидроморфные экосистемы, существующие в условиях повышенного и избыточного увлажнения (пойменного, грунтового, натёчного, сезонного, застойного), распространены на всей территории Байкальского бассейна, однако, по мере усиления аридности в южном и юго-западном направлении, их доля в структуре и составе ландшафтов сокращается.

На платообразных поверхностях всех высокогорий в микропонижениях и распадках верховьев горных водотоков на торфянистых, торфяно-болотных и перегнойно-глеевых почвах формируются болотистые кобрезиево-разнотравно-осоковые луга (фото 30) и заболоченные ерники, сменяющиеся ниже по рельефу в верховьях долин заболоченными зарослями курильского чая с кустарниковыми ивами и разреженным древостоем.



Фото 26. Луговая степь на прислоновом шлейфе (восточное Прихубсугулье).
Photo 26. Meadow steppe on an apron near the slope (Eastern Khubsugul Region).



Фото 27. Сухая тырсовая степь на юге Нижнеорхонской депрессии.
Photo 27. Dry *Stipa* steppe in the south of the Lower Orkhon Depression.



Фото 28. Псаммофитная дерновиннозлаково-мелколистнокарагановая сухая степь в Унджульской котловине. **Photo 28.** Psammophytic soddy-grass-Caragana *microphylla*¹ dry steppe in the Unjuul Hollow.



Фото 29. Деградированная выпасом сухая степь с полынью Адамса (сомон Замар).
Photo 29. Dry steppe with *Artemisia adamsii*, degraded due to grazing (Zamar Somon).

¹ Латинские названия растений приводятся по The Plant list (2022).



Фото 30. Высокогорные кобрезиево-осоковые болотистые луга (хр. Тарбагатай).

Photo 30. High-mountain kobresia-sedge marshy meadows (Tarbagatai Ridge).

В бассейне Верхней Ангары и в горной системе Станового нагорья в долинах верхнего уровня лесного пояса распространены переувлажнённые заросли кустарниковых ив и берёз на лугово-болотных мерзлотных и торфянисто-глеевых мерзлотных почвах, в комплексе со злаково-осоковыми болотистыми и злаково-богаторазнотравными мезофильными лугами.

По днищам горных речных долин, окружающих Байкал и бассейн Верхней Ангары, на торфяно-болотных глубоко промерзающих и дерново-подзолистых супесчаных почвах распространены сырые еловые и пихтовые леса, обычно, с лиственницей, чозенией, ольхой, тополем. На заболоченных участках днищ и в поймах Верхнеангарской и на севере Баргузинской котловин и в верховьях широких долин крупных притоков Селенги (севернее отрогов Хангая) на торфяных мерзлотных, торфянисто-болотных, торфянисто-иловато-глеевых почвах произрастают урёмные лиственничные и берёзово-лиственничные леса, местами с участием ели и сосны. В поймах лесного пояса многих рек встречаются коренные берёзовые травяные леса, часто с участием лиственницы, тополя и пойменных ивняков.

В поймах рек лесостепного и степного поясов распространены ивово-тополёвые урёмы на слабо развитых дерново-подзолистых почвах и заросли кустарниковых ив с участием черёмухи, смородин, облепихи на аллювиальных слоистых почвах.

В многоуровневых поймах крупных рек и низовьях небольших горных рек развиваются мезофильные разнотравно-злаковые луга на аллювиальных дерновых почвах (поймы среднего уровня, фото 31), разнотравно-осоковые болотистые луга на аллювиальных лугово-болотных почвах (поймы низкого уровня) и комплекс вострецовых и твердоватоосоковых оstepнённых лугов на аллювиальных оstepняющихся почвах (поймы высокого уровня).

Для мелководьев озёр и прибрежной линии многих рек характерны тростниковые и осоково-тростниковые болотистые луга на болотных, лугово-болотных и мерзлотных пойменных заболоченных почвах. В плоском днище Верхнеангарской котловины значительные площади заняты кустарничково-осоково-гипновыми и сфагновыми олиготрофными болотами.

Поймы небольших рек лесостепного и степного поясов занимают злаково-разнотравно-осоковые (осока бесжилковая и др.) и осоково-полевицевые болотистые и мезофильные луга на мерзлотных дерново-глеевых, лугово-болотных мерзлотных, лугово-болотных и луговых почвах (с криогенной закочкаренностю в верховьях долин) и с участием вострецовых оstepнённых и злаково-разнотравных мезофильных лугов (на нижних отрезках долин).



Фото 31. Мезофильный пойменный луг в низовьях Орхона.

Photo 31. Mesophilic floodplain meadow in the lower Orkhon.

В степном поясе по микропонижениям на террасах крупных рек (Баргузин, Селенга, Чикой, Дэлгэр-Мурэн, Орхон, Тола с её притоками) и в приозёрных понижениях распространены галофитные разнотравные, злаковые и разнотравно-чиевые (остепнённые) солончаковые луга (фото 32) и луговые солончаки, на лугово-солончаковых почвах, обычно в сочетании с бескильницевыми и солянковыми сообществами.



Фото 32. Вострецово-галофиторазнотравно-чиевый солончаковый луг на притеррасной пойме р. Орхон. **Photo 32.** *Leymus-halophytic-herb-Stipa splendens* solonchak meadow on the terrace floodplain of the Orkhon River.

Хозяйственное использование природных ресурсов. В бассейне Байкала значительные площади коренных хвойных лесов подвергались пожарам и по большей части заменились вторичными мелколиственными (преимущественно берёзовыми) насаждениями (фото 33); особенно на хребтах к югу от Хамар-Дабана, северо-западу от Байкала, примыкающих к Баргузинской котловине, восточного Прихубсугулья, северо-восточных отрогов Хангая, западного Хэнтэя. Островные леса низкогорий Нижне-Орхонской депрессии, хребтов Бургут и Хустайн-Нуру, находящиеся на южной границе экологических возможностей произрастания, после пожаров часто из-за выпаса скота не могут сформировать даже вторичных древостоев (фото 34). На месте таёжных и подгольцовых лесов хр. Тарбагатай долгие годы остаются покрытые валежником каменистые россыпи, с разреженным ерником. На многих доступных для вырубки массивах сгоревших лесов (фото 35) ведутся масштабные лесозаготовки.



Фото 33. Производный молодой горный березняк (хр. Бутэлийн-Нуру).

Photo 33. Secondary young mountain birch forest (Buteliin-Nuru Ridge).

Самые большие площади коренным образом изменённых природных экосистем возникли в результате распашки земель. В бассейне Байкала, где преобладает горный рельеф и горно-таёжные ландшафты расположенного в горной местности, преимущественно с таёжными, петрофитными степными и высокогорными ландшафтами, не так много территорий, пригодных для распашки под сельскохозяйственные культуры. В Бурятии и Забайкалье основные пахотные земли находятся в широких степных долинах Селенги и её главных притоков. В Монголии бассейн Селенги – главная житница страны. Пашни только Селенгинского аймака дают свыше половины урожая зерновых. Большие площади распаханы в аймаках Орхон, Дархан-Уул, Тов и в границах г. Улан-Батор. Здесь практикуется как богарное, так и поливное земледелие. Под пашни осваиваются главным образом расположенные степные предгорные шлейфы речных и сухих межгорных долин с тёмно-каштановыми, лугово-каштановыми и чернозёмными почвами и остеиненно-луговые участки речных террас (фото 36). В последние годы стали распахиваться все пригодные лугово-степные экотопы лесостепного пояса. Но часть распаханных территорий по разным причинам (нехватка воды для полива, частые засухи, опесчанивание и засоление

угодий) становятся залежами, без перспективы восстановления пашни в обозримом будущем. Значительные площади распаханных земель заброшены в маловодных засушливых сухостепных южных долинах Нижне-Орхонской депрессии и котловинах на юге бассейна Толы. Эоловыми песками занесена большая части пашни вместе с ветрозащитными лесополосами в Баргузинской котловине и районе Усть-Кирана.



Фото 34. Угнетённый выпасом низкорослый березняк с ивами (горы Бургут).
Photo 34. Stunted birch forest with willows, suppressed by grazing (Burgut Mountains).



Фото 35. Многолетняя гарь на хр. Тарбагатай. **Photo 35.** Old burnt site on the Tarbagatai Ridge.
ЭКОСИСТЕМЫ: ЭКОЛОГИЯ И ДИНАМИКА, 2022, том 6, № 3



Фото 36. Пшеничные поля в долине Селенги (Монголия).

Photo 36. Wheat fields in the Selenga Valley (Mongolia).

В наше время на территории байкальского бассейна идёт бурный рост площадей городов и крупных посёлков России, и, особенно, в Монголии. Так с 1990 г. площадь Улан-Батор выросла вдвое (фото 37), Дархана – в 8 раз, Эрдэнэта – в 9 раз. Существенно увеличились площади и других городов, посёлков, сомонов. Очень активно идёт пригородное дачное строительство. В прибрежной зоне Байкала построены десятки новых туристических баз, кемпингов, пансионатов и зон отдыха, с соответствующей инфраструктурой. Такое же строительство ведётся в привлекательных для отдыха и туризма местностях на берегах Хубсугула, у Селенги и её притоков, вблизи Улан-Батора, на Хангае, у минеральных источников и исторических объектов.

В бассейне Байкала находится множество промышленных техногенных объектов. Самые значительные площади занимают предприятия по добыче полезных ископаемых: каменного и бурого углей, железной руды, цветных и редких металлов, стройматериалов, известняка, мрамора и золота. Десятки золотоносных приисков разбросаны по многочисленным горным долинам в России и в Монголии. Свыше 43 км долины среднего течения Толы превратились в сплошной рудник по добыче золота (фото 38).

В разные годы большие площади природных экосистем были нарушены при строительстве крупных автодорог и важнейших железнодорожных магистралей (Транссибирская, БАМ, Трансмонгольская и др.).

Большая часть не распаханных и не занятых техногенными и селитебными объектами степных и луговых экосистем используется в качестве кормовых угодий. В основном это пастбища, пригодные для посезонного выпаса скота в течение всего года. В первую очередь используются травостои долин, котловин и низкогорий (фото 39). На Хангае и в Прихубсугулье скот пасётся на высокогорных степях и кобрезиевых лугах (фото 40). Как правило, количество скота превышает ёмкость пастбищ, поэтому очень большие площади угодий находятся в состоянии сильной пастбищной дигрессии (Ecosystems ..., 2019). В Бурятии и Забайкалье, где площади пастбищ меньше, чем в Монголии, а значительная часть домашних животных находится на стойловом содержании, существенная доля кормовых угодий приходится на сенокосы. Выкашиваются пойменные и лесные луга, высокотравные участки остепнённых лугов и луговых степей. В Монголии сенокосов мало, места покосов и их площади непостоянны.



Фото 37. Современный Улан-Батор. **Photo 37.** Modern city of Ulaanbaatar.



Фото 38. Добыча золота разрушила природные экосистемы в долине р. Тола.
Photo 38. Gold mining has destroyed natural ecosystems in the valley of the Tola River.



Фото 39. Предгорные пастбища на восточном Хангае (сомон Тэвшрүлэх).
Photo 39. Foothill pastures in the eastern Khangai Region (Tevshrulekh somon).



Фото 40. Выпас яков на высокогорных кобрезиевых лугах хр. Тарбагатай.
Photo 40. Grazing yaks on the high-mountainous kobresia meadows on the Tarbagatai Ridge.

В бассейне Байкала создана обширная сеть особо охраняемых природных территорий (ООПТ): национальные парки (НП), заповедники (ЗАП), заказники и резерваты, памятники природы, имеющие статус ООПТ государственного и регионального значения. Площадь некоторых из них включает также земли сопредельных речных бассейнов. На территории России расположено 8 государственных ООПТ: в Иркутской области – НП «Прибайкальский», ЗАП «Байкало-Ленский»; в Бурятии – НП «Тункинский» и «Забайкальский», ЗАП «Джергинский», «Баргузинский» и «Байкальский»; в Забайкалье – НП «Чикой». Их общая площадь составляет 30763 км².

В Монголии территория бассейна включает 12 государственных ООПТ: НП «Хубсугул», «Хорго-Тэрхийн-Цаган-Нур», «Тарвагатайн-Нуру», «Хангайн-Нуру», «Ноён Хангай», «Туджин-Нурс», «Долина Орхона», «Хустайн-Нуру» и «Горхи-Тэрэлж»; ЗАП «Зад-Хэнтай-Бутэйн-Нуру», «Их-Богд-Уул» и «Хан-Хэнтий» (самая крупная ООПТ – 12270 км²).

В состав государственных ООПТ России и Монголии на территории бассейна Байкала входят ещё 27 природных заказников и резерватов (Савенкова, 2002).

Создание карты экосистем оз. Байкал

Принципы картографирования и исходные материалы. Карта современных экосистем бассейна оз. Байкал создана камеральным путём методами экологического геоинформационного картографирования (ГК), которые предполагают автоматизированное создание и использование карт на основе ГИС-технологий и географических информационных систем, включающих базы картографических данных и географических знаний (Берлянт, 1997). При экологическом ГК в качестве базовой карты рассматривается карта современных экосистем, с которой согласуются все остальные разрабатываемые карты (Бажа и др., 2013). Экологическое ГК, основывающееся на сумме географических и экологических знаний, включает анализ исходных карт, литературных и исследовательских фондовых материалов, комплекс разработки и составления карт с использованием данных дистанционного зондирования (ДЗЗ) и ГИС-технологий.

Исходные материалы. Для территориального или регионального планирования мероприятий рационального природопользования и управления использованием восполняемых природных ресурсы наиболее востребованы тематические карты среднего уровня, т.е. масштабов от 1:100000 до 1:1000000, отвечающие задачам планирования рационального природопользования на региональном уровне. Тематические карты таких масштабов могут использоваться как для научно-прикладных исследований и прогнозирования возможного состояния природной среды при альтернативных воздействиях, так и для систематического регионального геоэкологического мониторинга состояния современных экосистем (Бажа и др., 2013).

Карты наземных экосистем предоставляют базовую информацию для изучения состояния природных ресурсов и разработки мероприятий по рациональному природопользованию.

При подготовке предварительной легенды карты современных экосистем бассейна оз. Байкал и целенаправленного дешифрирования материалов космической съёмки были использованы, кроме тематических литературных источников, разнообразные ранее созданные авторские картографические и полевые описательные материалы.

1. Опубликованные источники, содержащие мелко- и среднемасштабные региональные карты экосистем и растительности, в т.ч. ключевых участков, особо охраняемых природных территорий, районов (сомонов) и т.п. (Куминова и др., 1985; Чердонова, 2003; Экосистемы ..., 2005; Экологический ..., 2015; Софонов, 2015; Ecosystem ..., 2019; Савенкова, 2002).

2. Опубликованные материалы о почвенном покрове: Государственная почвенная карта СССР масштаба 1:1000000 (Рухович и др., 2013), региональные почвенные карты разных масштабов (Уфимцева, 1963; Цыбжитов, 1971; Национальный ..., 2011; Убугунов и др., 2012; Экологический ..., 2015) и другие публикации, посвящённые почвам Байкальского бассейна (Полевой ..., 2008; Хадбаатар, 2010; Лебедева и др., 2012; Убугунов и др., 2018).
3. Карты экосистем и антропогенной нарушенности экосистем (включая опубликованные) 13 модельных полигонов (в основном в масштабе 1:200000) и 19 ключевых участков (в масштабах 1:5000-1:10000), расположенных в различных частях бассейна Байкала на территории Монголии и Республики Бурятия в России.
4. Из фондовых материалов использовались разновременные авторские картографические произведения исследуемой территории.
5. Картографические данные уточнялись и дополнялись маршрутными авторскими описаниями участников многолетних полевых исследований СРМКБЭ РАН и АНМ.
6. Материалы дешифрирования рельефа бассейна по материалам ДЗЗ с использованием топографических карт масштабом 1:200000 и подготовленная на этой основе предварительная рабочая легенда карты экосистем.
7. Для дешифрирования экосистем и в качестве единой картографической основы использованы данные актуальной космической съёмки среднего и крупного пространственного разрешения, полученные с аппаратов Spot 6/7 и Landsat 8 (OLI), в том числе анализировались снимки с интернет-сайта Google.Earth (2022).

Использование новейшей дистанционной информации позволяет получить наиболее объективную картину современной пространственной структуры экосистем, их состояния и распределения антропогенных факторов дестабилизации экосистем (Бажа и др., 2013).

Дешифрирование рельефа и подготовка цифровой контурной основы. Поскольку исходные картографические материалы имели различные масштабы, то для подготовки легенды и создания рабочей версии среднемасштабной (1:500000) карты экосистем было необходимо, с учётом допустимых в картографии минимальных размеров контуров, выполнить графическую и смысловую дифференциацию содержания карт мелкого масштаба и генерализацию содержания карт более крупного масштаба.

Среднемасштабная карта должна выполнить задачу инвентаризации современных наземных природных и антропогенных экосистем бассейна Байкала и отразить большой объём разнообразной информации об их структуре, местоположении (в т.ч. в географических координатах), занимаемой площади, а также содержать сведения об основных компонентах ПТК: характере рельефа, экологических особенностях, почвенно-растительном покрове.

Разработка комплексной характеристики внутренней структуры современных экосистем при выполнении работ по геоинформационному картографированию опирается на анализ материалов предыдущих исследований изучаемой территории. Непосредственная подготовка контурной нагрузки базовых карт полностью основывается на материалах дистанционного зондирования, а любые данные ДЗЗ, используемые для целей экологического геоинформационного картографирования современных ландшафтов и экосистем, нуждаются в тематической интерпретации, т.е. в дешифрировании (Бажа и др., 2013).

Для отображения пространственной вариабельности экосистем на основе дешифрирования была разработана цифровая слой-карта морфогенетических типов рельефа. С нашей точки зрения, именно структура рельефа, отображающая специфику его динамики, должна выступать в качестве одного из ключевых параметров для дифференциации ряда экологических факторов и почвенно-растительного покрова. Известно, что для отображения текущей гетерогенности экосистем (ландшафтов) наиболее значимым параметром рельефа является характер его влияния на вещественно-энергетические потоки (Арманд, 1975;

Дьяконов, Пузаченко, 2004). Именно выделение локусов рассеивания или аккумуляции вещества и энергии, а также степень мобилизации тех или иных продуктов функционирования экосистем, помогает сделать вывод о топо-динамическом состоянии экосистемы в целом и о возможности дальнейшего ее развития. В результате были выделены следующие основные параметры рельефа, выступающие в качестве картографических единиц.

- Места аккумуляции вещества и энергии, формирующиеся в замкнутых ложбинах (котловинах), днищах эрозионно-тектонических врезов с покатыми и плоскими склонами (крутизной до 9°). Выделение данных мест осуществлялось при помощи ряда инструментов Hydrology и Surfacea в программных пакетах ArcMap 10.6 и Saga Gis с использованием построенных цифровых моделей рельефа на основе открытых данных Геологической службы США (USGS, 2021). Для выделения областей аккумуляции использовались индексы TWI (Topographic Wetness Index) и TPI (Topographic Position Index), функция Sink, дополнительный модуль Slope Position Classification и построенные растры тальвегов при помощи инструментов Hydrology (Moore et al., 1991; Sørensen et al., 2006; Ma et al., 2010; Korecký, Čížková, 2010; Róžycka et al., 2017; Кесель и др., 2019).

- Места изначального рассеивания вещественно-энергетических потоков. В качестве таких мест выступают привершинные поверхности (гребни). Выделение гребней и прилегающих к ним областей осуществлялось при помощи индекса TPI (Topographic Position Index) и модуля Slope Position Classification (Weiss, 2000; Tağıl, Jenness, 2008; Mokarram et al., 2017).

- Позиции транспорта вещества – участки рельефа крутизной более 4°. Для отображения характера транспорта вещества склоны были разбиты на несколько групп: очень пологие и пологие (до 8°); средней крутизны и покатые (8-15°); крутые (до 30°) и очень крутые (более 30°).

- Места аккумуляции и квазиаккумуляции вещества, приуроченные к рекам (поймы и террасы).

Помимо выделения динамической составляющей было важно также отобразить уровни рельефа и степень гетерогенности его составных морфологических частей, то есть характер расчлененности. Анализируя структуру графика распределения высот по территории бассейна оз. Байкал, были выделены три высотных пояса (второй цифровой блок карты): 1500 м н.у.м. БС и ниже, 1501-2000 м н.у.м. БС и выше 2000 м н.у.м. БС. По характеру расчлененности (вертикальной и горизонтальной) вышеописанные картографические единицы (кроме пойм и террас по причине их небольшой ширины для детальной дифференциации в масштабе 1:500000) были поделены на три категории: мелкорасчлененные, среднерасчлененные, сильно- и очень сильнорасчлененные. В итоге был выделен 31 морфогенетический тип рельефа (табл. 1). Цифровая слой-карта морфогенетических типов рельефа стала контурной основой (картографическим каркасом) для создания карты экосистем.

При работе над картой экосистем Байкальского бассейна в процессе дешифрирования космических снимков фиксировались не только формы рельефа, но также отмечались все особенности экологического строения территории на момент съемки, которые позволяла увидеть разрешающая способность фотокамеры, и антропогенные объекты. В дальнейшем, при сравнении полученной информации с картографическими материалами прошлых лет, выявлялись произошедшие изменения природной ситуации, которые затем были учтены при составлении карты. В первую очередь – это расширение или возникновение новых объектов техногенного характера: добычи полезных ископаемых, строительства, транспортных путей, населенных пунктов, вырубок и распаханных территорий под сельскохозяйственные культуры, лесопосадки и т.д. На снимках читались также масштабные изменения природного

происхождения – обвалы, оползни, смещение береговой линии озёр и рек, а также природно-антропогенного – лесные гари, очаги водной и ветровой эрозии. Такие нарушения целостности экосистем носят, в большинстве случаев, необратимый характер, поскольку полностью меняют все природные составляющие наземной экосистемы: рельеф, гидрологический режим, структуру почв и подстилающих пород, растительный покров, и приводят к кардинальной смене экосистем.

Таблица 1. Морфогенетические типы рельефа бассейна оз. Байкал. **Table 1.** Morphogenetic types of relief of the Baikal Lake basin.

Ключ	Значение
1	Речные поймы и 1-я приозерная терраса
2	Речные террасы, 2-я и 3-я приозерные террасы
3	Субаэральные дельты
4	Подгорные шлейфы, конусы выноса, пролювиальные валы
5	Слаборасчлененные (глубиной до 100 м) покатые и средней крутизны склоны (до 15°) нижнего гипсометрического уровня (до 1500 м н.у.м. БС)
6	Среднерасчлененные (100-230 м) покатые и средней крутизны склоны (до 15°) нижнего гипсометрического уровня (до 1500 м н.у.м. БС)
7	Сильнорасчлененные (231-420 м) покатые и средней крутизны склоны (до 15°) нижнего гипсометрического уровня (до 1500 м н.у.м. БС)
8	Очень сильнорасчлененные (более 420 м) покатые и средней крутизны склоны (до 15°) нижнего гипсометрического уровня (до 1500 м н.у.м. БС)
9	Среднерасчлененные (100-230 м) крутые и очень крутые склоны (более 15°) нижнего гипсометрического уровня (до 1500 м н.у.м. БС)
10	Сильнорасчлененные (231-420 м) крутые и очень крутые склоны (более 15°) нижнего гипсометрического уровня (до 1500 м н.у.м. БС)
11	Очень сильнорасчлененные (более 420 м) крутые и очень крутые склоны (более 15°) нижнего гипсометрического уровня (до 1500 м н.у.м. БС)
12	Слаборасчлененные (глубиной до 100 м) покатые и средней крутизны склоны (до 15°) среднего гипсометрического уровня (1500-2000 м н.у.м. БС)
13	Среднерасчлененные (100-230 м) покатые и средней крутизны склоны (до 15°) среднего гипсометрического уровня (1500-2000 м н.у.м. БС)
14	Сильно расчлененные (231-420 м) покатые и средней крутизны склоны (до 15°) среднего гипсометрического уровня (1500-2000 м н.у.м. БС)
15	Очень сильнорасчлененные (более 420 м) покатые и средней крутизны склоны (до 15°) среднего гипсометрического уровня (1500-2000 м н.у.м. БС)
16	Среднерасчлененные (100-230 м) крутые и очень крутые склоны (более 15°) среднего гипсометрического уровня (1500-2000 м н.у.м. БС)
17	Сильнорасчлененные (231-420 м) крутые и очень крутые склоны (более 15°) среднего гипсометрического уровня (1500-2000 м н.у.м. БС)
18	Очень сильнорасчлененные (более 420 м) крутые и очень крутые склоны (более 15°) среднего гипсометрического уровня (1500-2000 м н.у.м. БС)
19	Слаборасчлененные (глубиной до 100 м) покатые и средней крутизны склоны (до 15°) верхнего гипсометрического уровня (свыше 2000 м н.у.м. БС)

Продолжение таблицы 1.

Ключ	Значение
20	Среднерасчлененные (101-230 м) покатые и средней крутизны склоны (до 15 град) верхнего гипсометрического уровня (свыше 2000 м н.у.м. БС)
21	Сильнорасчлененные (231-420 м) покатые и средней крутизны склоны (до 15°) верхнего гипсометрического уровня (свыше 2000 м н.у.м. БС)
22	Очень сильнорасчлененные (более 420 м) покатые и средней крутизны склоны (до 15°) верхнего гипсометрического уровня (свыше 2000 м н.у.м. БС)
23	Среднерасчлененные (100-230 м) крутые и очень крутые склоны (более 15°) верхнего гипсометрического уровня (более 2000 м н.у.м. БС)
24	Сильнорасчлененные (231-420 м) крутые и очень крутые склоны (более 15°) верхнего гипсометрического уровня (более 2000 м н.у.м. БС)
25	Очень сильнорасчлененные (более 420 м) крутые и очень крутые склоны (более 15°) верхнего гипсометрического уровня (более 2000 м н.у.м. БС)
26	Днища эрозионной сети, не относящиеся к современной гидросети
27	Привершинные поверхности нижнего гипсометрического уровня
28	Привершинные поверхности среднего гипсометрического уровня
29	Привершинные поверхности верхнего гипсометрического уровня
30	Днища горных долин (высотой до 3 м)
31	Межгорные котловины, сильно замкнутые депрессии

Подготовка цифрового слоя «Почвы». Третьим крупным блоком цифровой карты экосистем выступает почвенный покров территории. Слой «Почвы» для монгольской части бассейна был подготовлен на основе карты почв бассейна оз. Байкал масштаба 1:5000000 (Почвы, 2015). Почвы российской части бассейна были получены на основании интерполяции почвенных карт из «Национального атласа почв Российской Федерации» (2011) на соответствующие субъекты в масштабе 1:2500000. Интерполирование почвенного покрова для некоторых типов и подтипов почв производилось на основании общих закономерностей формирования почвенного покрова на данной территории (Убугунов и др., 2018), уточнялось и дополнялось на основе архивных и многолетних данных полевого изучения почвенного покрова в СРМКБЭ РАН и АНМ, а также уже опубликованных монографий и статей. Характеристика почв была переклассифицирована согласно современной классификации почв России (Шишов и др., 2004). Большая протяженность территории бассейна оз. Байкал с юга на север предопределяет широтно-зональные смены почвенно-растительного покрова. При продвижении с запада на восток трансформации во многом связаны с влиянием экосистем сопредельных территорий, изменениями степени континентальности и аридности климата. Преобладание горных ландшафтов отражается в высотно-поясных и экспозиционных различиях растительности и почв, во влиянии на их распределение котловинного эффекта и многообразия экологических условий. Существенна также роль мерзлоты, характера почвообразующих пород, эволюции ландшафтов в историческом масштабе и их изменений в результате антропогенного воздействия. Комбинации почв, объединенных практически в каждом контуре цифрового слоя «Почвы», напрямую связаны с высотной и экспозиционной дифференциацией и определяются характером мезо- и микрорельефа, а также

неоднородностью почвообразующих пород. Большинство почв выделяется на уровне типа, реже подтипа согласно современной классификации почв для территории России и Монголии (Шишов и др., 2004; Полевой ..., 2008; Убугунов и др., 2012). Классификация почв бассейна Байкала приведена в таблице 2.

Таблица 2. Легенда-расшифровка к карте «Экосистемы бассейна оз. Байкал» для почв.
Table 2. Soils legend for the map «Ecosystems of the Baikal Basin».

Ключ	Значение
1	Литоземы и петроземы в сочетании с криоземами и подбурами
2	Литоземы с петроземами
3	Крио-литоземы грубогумусовые с глееземами и подбурами
4	Крио-литоземы перегнойно-темногумусовые в сочетании с глееземами
5	Литоземы темногумусовые в сочетании с серогумусовыми литоземами
6	Глееземы и торфяно-глееземы
7	Торфяно-глееземы и торфяно-литоземы
8	Карбо-литоземы темногумусовые в сочетании с карболитоземами перегнойно-темногумусовыми
9	Карбо-литоземы перегнойные в сочетании с карбо-литоземами темногумусовыми
10	Перегнойно-темногумусовые и перегнойно-метаморфические
11	Криоземы в сочетании с подбурами
12	Торфяно-криоземы в сочетании с торфяно-подбурами
13	Подбуры типичные и грубогумусированные почвы в сочетании с дерново-подбурами и торфяно-подбурами
14	Подбуры оподзоленные и подбуры иллювиально-железистые
15	Подбуры и буровоземы грубогумусовые в сочетании с дерново-подбурами оподзоленными
16	Подбуры и подзолы в сочетании с дерново-подзолами
17	Буровоземы грубогумусовые в сочетании с темногумусовыми остаточно-карбонатными
18	Дерново-подзолы и подзолы в сочетании с дерново-подзолистыми
19	Дерново-подбуры с дерново-подбурами оподзоленными
20	Темногумусовые типичные в сочетании с темногумусовыми метаморфизованными
21	Темногумусовые метаморфизованные в сочетании с темногумусовыми глееватыми
22	Светлогумусовые с каштановыми
23	Темногумусовые остаточно-карбонатные в сочетании с черноземами дисперсно-карбонатными
24	Горные черноземы дисперсно-карбонатные маломощные щебнистые в сочетании с маломощными щебнистыми черноземами
25	Горные темно-каштановые маломощные щебнистые в сочетании с темно-каштановыми

Продолжение таблицы 2.

Ключ	Значение
26	Горные каштановые маломощные щебнистые в сочетании с каштановыми
27	Подзолы и дерново-подзолы
28	Дерново-подзолистые и подзолистые
29	Слабо-подзолистые боровые пески в сочетании со слабооподзоленными песчаными почвами
30	Дерново-подзолы глеевые в сочетании с дерново-подзолисто-глеевыми
31	Дерново-подбуры и серые метаморфические в сочетании с подбурами грубогумусированными
32	Дерново-подбуры и псамоземы гумусовые в сочетании с подбурами
33	Темносерые и темносерые метаморфические
34	Серые метаморфические и серые
35	Гумусово-гидрометаморфические в сочетании с темногумусовыми
36	Перегнойно-глеевые и перегнойно-квазиглеевые
37	Черноземы квазиглеевые и черноземы гидрометаморфизированные
38	Черноземовидные в сочетании с темногумусовыми метаморфизированными
39	Черноземы дисперсно-карбонатные в сочетании с черноземами гидрометаморфизированными
40	Темно-каштановые и темно-каштановые турбированные
41	Каштановые и каштановые маломощные
42	Каштановые гидрометаморфизированные в сочетании с каштановыми турбированными
43	Торфяные эутрофные в сочетании с гумусово-гидрометаморфическими и перегнойно-гидрометаморфическими
44	Аллювиально-серогумусовые и темногумусовые
45	Солончаки и солонцы в сочетании со светлогумусовыми засоленными и каштановыми солонцеватыми
46	Гумусово-гидрометаморфические засоленные в сочетании с гумусово-гидрометаморфическими солонцеватыми
47	Пески
48	Агроземы (агровариант естественной почвы)
49	Урбанозем
50	Урбокхемозем
51	Рекультоземы

Растительность и разработка легенды к карте экосистем. Известно, что рельеф выступает в роли независимого или слабозависимого компонента в составе наземных экосистем. Почвенный покров формируется в конкретных зональных и высотно-поясных условиях климата, на определённых формах рельефа, в результате взаимодействия почвообразующих пород, почвенной биоты, грунтовых вод и под многолетним влиянием развивающейся на нём растительности. Состав и структура растительного покрова отражает влияние и взаимосвязь всех компонентов ландшафта. Растительность наиболее динамична и

чувствительна к изменениям состояния других составляющих экосистемы, к нарушениям природного баланса. По изменениям растительного покрова можно проследить даже тонкие фазы перемен в состоянии экосистемы. В условиях Байкальского региона основными факторами изменений состояния растительного покрова (исключая разрушительные для природных комплексов техногенные и селитебные), являются чрезмерные пастьбищные нагрузки на травяные сообщества и пирогенное воздействие на лесную растительность. В связи с этим, использование при ГК экосистем в качестве исходных картографических материалов, наряду с картами экосистем, геоботанических карт (растительности, лесов, природных кормовых угодий) целесообразно, так как в большинстве случаев в легендах к этим картам для выделяемых растительных сообществ или их сочетаний (комплексов) указываются типичные для них местообитания – приуроченность к определённой широтной зоне (высотному поясу), формам рельефа, экологическим особенностям (засолённость, опесчаненность, повышенное увлажнение, наличие мерзлоты, каменистость и т.п.), типы почв и подстилающих пород.

На картах природных кормовых угодий тип кормового угодья (и таксоны более высокого ранга) является разновидностью наземной экосистемы в границах сельскохозяйственных земель, поскольку представляет собой единство топо-экологических условий местообитаний и приуроченных к ним растительных сообществ (Общесоюзная ..., 1982). На картах лесов также каждый тип леса приурочен к определённому типу лесорастительных условий (Колесников, 1956), что позволяет достаточно полно охарактеризовать лесную экосистему.

Как правило, на геоботанических картах среднего и мелкого масштабов контуры растительности охватывают значительные территории, представленные сочетаниями гетерогенных форм рельефа и почвенно-экологических условий и, соответственно, сочетаниями различных растительных сообществ, имеющих отдельные таксоны в легенде. Либо контуры включают обширные однородные экотопы с комплексной растительностью в ранге конассоциации, т.е. относящейся к совокупности длительно существующих растительных сообществ, принадлежащих к одной или группе близких ассоциаций, состоящих в комплексе с близкими сообществами прогрессивных, демутационных или дигрессивных серий; все они могут сочетаться с интразональными сообществами.

Конассоциация объединяет растительные сообщества, развивающиеся в рамках одного и того же типа условий развития растительности (Быков, 1978). Один тип условий развития растительности объединяет местообитания, обладающие сходными экологическими потенциями и, в силу этого, обеспечивающие сравнительно одинаковый характер возрастных, дигрессивных, демутационных и антроподинамических смен растительности. (Курочкина и др., 1977). Сходство понятий тип кормового угодья, тип леса, и конассоциация по отношению к топо-экологическим условиям (Петухов, 1984), во многом облегчает сопоставление легенд средне- и мелкомасштабных геоботанических карт различных тематических направлений.

Таким образом, по имеющимся легендам к геоботаническим картам можно с высокой степенью достоверности определить к каким экосистемам относятся те или иные выделы этих карт, увязать между собой содержание легенд, построить легенду к среднемасштабной карте экосистем на всю территорию бассейна оз. Байкал.

В результате дешифрирования актуальных материалов ДЗЗ в масштабе 1:500000 и с помощью исходной геоботанической информации была составлена рабочая карта растительности бассейна оз. Байкал и легенда к ней с указанием приуроченности растительности каждого таксона к топо-экологическим условиям. Всего легенда карты растительности содержит 67 типов мезокомбинаций растительных сообществ.

На основе этой легенды, с помощью легенд к исходным тематическим картам

(рельефа и почв) и анализа содержания карт модельных полигонов и ключевых участков, разработана легенда к карте экосистем бассейна оз. Байкал масштабом 1:500000, состоящая из 71 таксона, включая 67 таксонов природных экосистем и 4 антропогенных.

При разработке легенды к среднемасштабной карте экосистем, в первую очередь, проводилось разделение экосистем по высотным поясам и подпоясам в экологических группах автоморфного и гидроморфного генезиса. Всего на территории бассейна Байкала выделено 4 высотных пояса: высокогорный с 4 подпоясами (субнивальный, тундровый, высокогорных криофильных лугов и степей, подгольцовый), таёжный с 3 подпоясами (северотаёжный, среднетаёжный, южнотаёжный), лесостепной и степной. Обособленной группой в легенде представлены антропогенные экосистемы.

Экосистемный покров бассейна представлен сложными сочетаниями высотно-поясных устойчивых природных климаксовых экосистем и дестабилизованных экотонных, развитых на переходных территориях между экологически различными участками. На картах среднего масштаба (в нашем случае – 1:500000) наиболее реально отображаются экотоны региональные с мезоэкосистемами на гетерогенных мезоморфах рельефа и локальные с моноэкосистемами на элементарных формах рельефа (Бажа и др., 2013).

В мезоэкосистемах региональных экотонов растительность представлена сочетаниями и комплексами ассоциаций (коассоциаций) или их групп. Например, на альпинотипном рельфе высокогорий, где сочетаются различные формы ледникового рельефа (обрывистые скалы, кары, цирки, каменистые россыпи и др.), сформировалось сложное сочетание тундровых, криофильно-луговых, кедровостланиковых, ерниковых сообществ, нивальных луговин, группировок петрофильных накипных лишайников.

Растительный покров в моноэкосистемах локальных экотонов может быть менее сложным и включать простые коассоциации (например, разной степени антропогенной деградации мезофильные луга центральной поймы крупных рек, с участием болотистых лугов и ивняков в микропонижениях старых русел) и микроряды фитоценозов на экотонных участках, где идёт быстрое изменение степени действия ведущего экологического фактора: микропоясные ряды (например, в приозёрных понижениях и замкнутых переувлажнённых или засолённых депрессиях) и серийные ряды (например, в поймах небольших рек или на локальных массивах эоловых песчаных отложений).

Один таксон готовой легенды карты экосистем, может включать близкие по составу растительные сообщества или их типичные для байкальского региона сочетания (или комплексы), формирующиеся в сходных топо-экологических условиях. В связи со сложностью пространственной структуры растительного покрова и экосистем в целом, сочетания и комплексы растительных сообществ, наиболее характерные для того или иного типа растительного покрова или местности, используются практически во всех таксонах легенды.

Часто в один таксон объединяются фитоценозы, основные ценозообразующие доминанты которых являются разными видами одного рода, относящихся к аналогичным экоморфам и близких по своему отношению к условиям местообитаний, например, *Dryas oxyodonta* и *D. octopetala* (в горных щебнистых тундрах) или *Larix sibirica* и *L. gmelini* (в светлохвойных таёжных лесах среднегорий) – это пары видов, доминирующих в сообществах, относящихся к различным региональным ботаническим формациям.

Создание карты экосистем. Подготовленная легенда явилаась тематической основой цифровой карты экосистем бассейна оз. Байкал. Картографическая основа – это материалы предварительного дешифрирования рельефа, экологических условий и антропогенных экосистем. В процессе создания карты экосистем проведена интерпретация фотоизображения материалов ДЗЗ на основе разработанной легенды, с привлечением

имеющихся исходных данных, и заполнение контуров материалов предварительного дешифрирования информацией об экосистемах, приуроченных к этим контурам, в соответствии с легендой. При необходимости (при наличии нужной информации на исходных картографических материалах) проводилась корректировка границ экологотопографических контуров или нанесение дополнительных контурных границ.

Построение итоговой пространственной карты экосистем основывалось на уже известных и наиболее распространенных методах картографирования в ландшафтной экологии (Исаченко, 2016; Колбовский, 2016; Старожилов, 2018). В процессе создания карты экосистем оз. Байкал для отображения экосистемного разнообразия территории были скомбинированы между собой контуры карт растительного покрова и рельефа территории, а затем наложены контуры карты почв на уже имеющийся растительно-рельефный рисунок, без изменения при этом общего плана строения контуров.

В итоге было получено более 8 тысяч выделов (контуров). При этом практически каждый выдел карты, установленный масштаб картографирования которой составляет 1:500000, представлен сочетаниями почвенно-растительного покрова на конкретных морфогенетических типах рельефа.

В дальнейшем, в подготовленную электронную базу данных (БД), кроме информации по карте экосистем бассейна, были включены пространственные данные экосистем и сведения о степени их антропогенной нарушенности для ранее созданных авторами 9 модельных полигонов (масштаб 1:100000-1:200000) и 9 ключевых участков (масштаб 1:5000-1:10000), а также 1757 геоботанических описаний (Бажа и др., 2021; рис. 2, табл. 3).

Пространственная база данных

Назначение базы данных. Новая пространственная база данных в картографическом и карто-схематическом виде визуализирует для пользователя данные, полученные и получаемые в ходе комплексных биологических исследований территории бассейна оз. Байкал. Она предоставляет пользователю возможности для просмотра, аннотации и предварительного анализа пространственных данных, а также сопутствующей этим данным атрибутивной информации (в том числе метаданные). По дополнительному запросу пользователи могут осуществить полное копирование и обработку материала на собственном компьютере. Новая база данных может эффективно использоваться при решении различных задач в области экологии, охраны природы, изучения ландшафтного и биологического разнообразия, картографии, географии, ландшафтного планирования, в том числе и самого озера Байкал.

Помимо данных об экосистемном устройстве, база данных содержит пополняющуюся и обновляемую информацию о структуре и свойствах отдельных компонентов экосистем, создающих экологические условия, в которых формируются экосистемы. Так, например, в базе уже имеются данные точечных геоботанических описаний на значительную территорию бассейна. К настоящему времени объем базы данных (БД), выраженный количеством заполненных ячеек атрибутивной информации, превышает 3.5 млн. цифровых и текстовых записей.

База данных предназначена для решения следующих задач:

- изучения экосистемного (ландшафтного) устройства бассейна оз. Байкал на разных уровнях организации ПТК;
- выявления основных направлений трансформации ПТК и возможных причин и механизмов их возникновения;
- прогнозирования и предотвращение нежелательных трансформаций экосистем;
- поиска путей и способов сокращения негативных последствий антропогенной

трансформаций ПТК с учетом локальных и региональных механизмов структурно-функционального устройства экосистем.

Построенная БД позволяет просматривать, анализировать и дополнять данные о ландшафтно-экологическом пространстве бассейна оз. Байкал, на разных уровнях организации. Под ландшафтно-экологическим пространством понимается совокупность экологических условий, формирующих структуру и обеспечивающих функционирование ПТК, которые могут быть представлены в базе данных в виде растров и векторов, визуализированных в картографическом виде, и тем самым создающих как пространственные поля определенного фактора, так и всю совокупность ПТК.

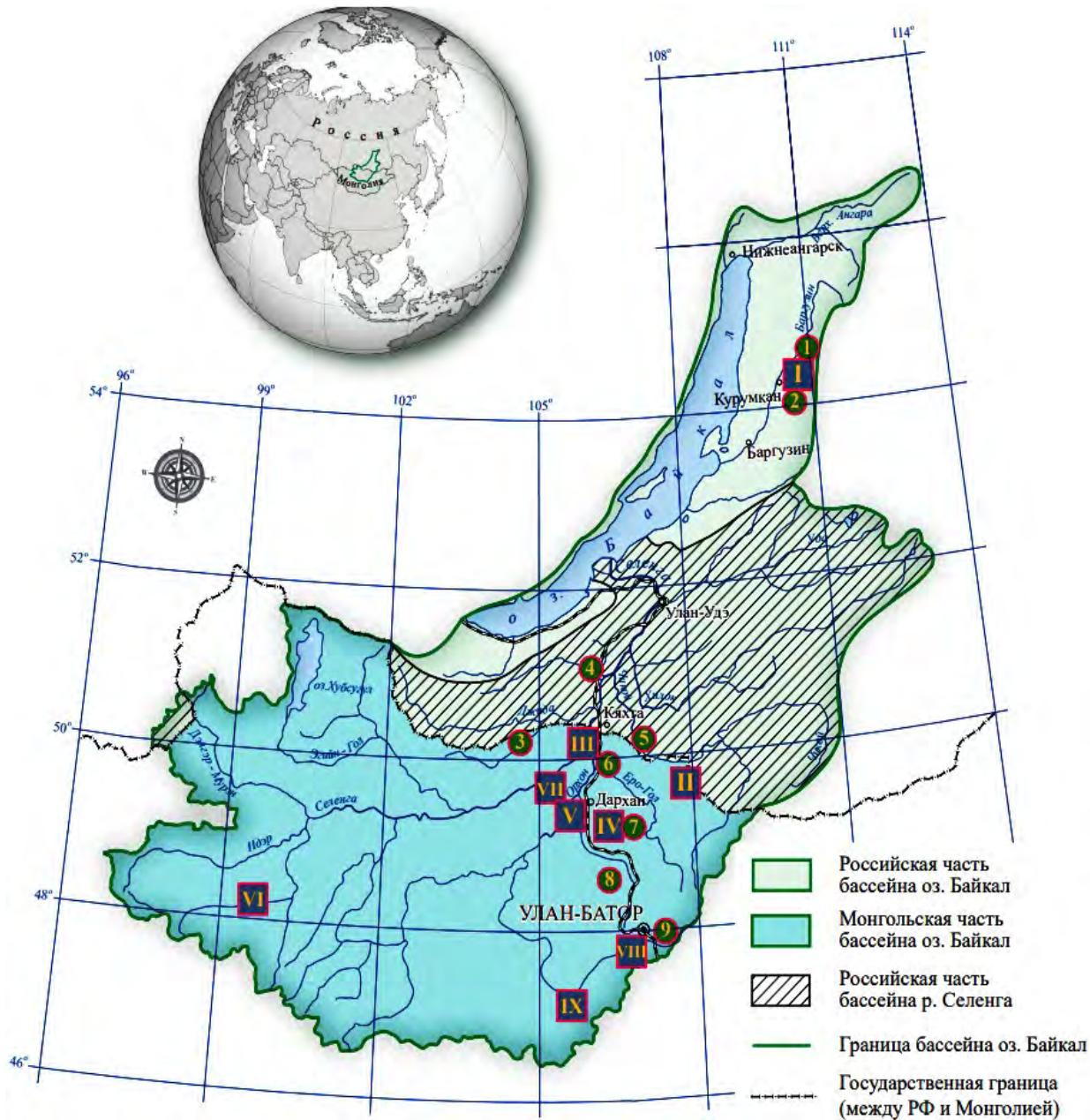


Рис. 2. Расположение модельных полигонов и ключевых участков в бассейне оз. Байкал.²
Fig. 2. Location of model polygons and key areas in the Baikal Lake basin.

² Расшифровка индексов и характеристики МП и КУ даны в таблице 3.

Таблица 3. Ландшафтно-экологические характеристики модельных полигонов (МП) и ключевых участков (КУ) бассейна оз. Байкал. **Table 3.** Landscape and ecological characteristics of the model polygons (МП) and the key areas (КУ) of the Baikal Lake basin.

Название объекта (административное положение)	Площадь (км ²) / масштаб	Положение в системе ландшафтного районирования	Название ландшафта
I. МП «Баргузин» (Бурятия, Курумканский район)	1057.2 / 1:200000	Прибайкальская горно-таежная и котловинная про- винция. Байкало- Джугджурская горно-таежная область	Предгорно-котловинный лесостепной с сосновыми лесами и разнотравно-злаковыми степями и залежами
1. КУ «Верхний Куйтун» (Бурятия, Курумканский район)	0.5 / 1:5000		
2. КУ «Ина» (Бурятия, Баргузинский район)	0.5 / 1:5000		
3. КУ «Зэлтэр» (Монголия, Селенгинский аймак)	2.1 / 1:10000	Джидинско-Хамар- Дабанская горно- таежная и котло- винная провинция. Южно-Сибирско- Хангай-Хэнтэйская горная область	Низкогорный лесостепной с лиственничными и производными лесами
4. КУ «оз. Гусиное» (Бурятия, Селенгинский район)	364.1 1:10000	Селенгинско- Орхонская котловинно- среднегорная провинция. Южно- Сибирско-Хангай- Хэнтэйская горная область	Низкогорно-долинный лесостепной с сосновыми лесами, разнотравно- злаковыми степями, пойменными лугами и богарными (пахотными и залежными) землями
5. КУ «Усть-Киран» (Бурятия, Кяхтинский район)	125.5 / 1:10000		
II. МП «Худэр» (Монголия, Селенгинский аймак)	2660 / 1:200000		
III. МП «Шамар – Дзун- Бурэн» (Монголия, Селенгинский аймак)	779.1 / 1:200000		
6. КУ «Шамар» (Монголия, Селенгинский аймак)	52.7 / 1:10000		
7. КУ «Шарын-гол» (Монголия, аймак Дархан-Уул)	29.1 / 1:50000	V. МП «Салхит» (Монголия, Селенгинский и Дархан-Уул аймаки)	Низкогорный лесостепной
IV. МП «Шарын-гол» (Монголия, аймак Дархан-Уул)	623.4 / 1:200000		
8. КУ «Борнур» (Монголия, Тов аймак)	0.45/ 1:5000		
VI. МП «Тариат» (Монголия, Архангайский аймак)	1024 / 1:200000	Хангайская нагорная горно- таежная и горно- луговая сухостепная провинция. Южно-Сибирско- Хангай-Хэнтэйская горная область	Высокогорно-котловинный гольцово-лесостепной с лиственничниками, разнотравно-злаковыми степями, криофильными лугами, тундрами, серниками, петрофильными кустарниками на лавовых потоках

Продолжение таблицы 3.

Название объекта (административное положение)	Площадь (км²) / масштаб	Положение в системе ландшафтного районирования	Название ландшафта
VII. МП «Сант» (Монголия, Селенгинский аймак)	1387 / 1:2000000	Селенгинско- Орхонская котловинно- среднегорная провинция. Южно- Сибирско-Хангай- Хэнтэйская горная область	Горнотаёжно-долинно-степной с лиственничниками, горными луговыми степями, умеренно-сухими и сухими предгорными степями, остепнёнными и мезофильными луговыми поймами
9. КУ «Налайх» (Монголия, Тов аймак)	28.4 / 1:100000	Онон-Хэнтэйская котловинно-горно- таежная провинция. Южно-Сибирско- Хангай-Хэнтэйская горная область	Среднегорно-котловинный лесостепной с лиственничниками и осиново-березовыми сильно нарушенными лесами, кустарниковыми зарослями, разнотравными лугами и разнотравно-злаковыми степями
VIII. МП «Сэргэлэн» (Монголия, Тов аймак)	920.2 / 1:2000000	Селенгинско- Орхонская котловинно- среднегорная провинция. Южно- Сибирско-Хангай- Хэнтэйская горная область	
IX. МП «Унджул» (Монголия, Тов аймак)	1651.75/ 1:2000000	Селенгинско- Орхонская котловинно- среднегорная провинция. Южно- Сибирско-Хангай- Хэнтэйская горная область	Низкогорно-сопочный с фрагментами лесостепи и равнинный сухостепной

Структура и краткое содержание электронных слоёв базы данных. Самый верхний уровень электронной БД представлен картой «Экосистем бассейна оз. Байкал» в масштабе 1:500000 и отображает современную структуру ПТК бассейна; средний и нижний уровни БД представляют «Полигоны крупномасштабного картографирования», соответственно: модельные полигоны, созданные в масштабах 1:100000-1:200000 и ключевые участки – в масштабах крупнее 1:100000. При этом, все уровни интегрированы в единую систему, что способствует изучению структурно-функционального устройства ПТК одной и той же территории сразу на нескольких уровнях их организации.

База данных «Экосистемы бассейна оз. Байкал» состоит из трех основных типов данных: «Группа ресурсов», «Справочники» и «Веб-карта», а также двух дополнительных: «Векторы» и «Растры».

Тип данных «Группа ресурсов» представляет собой набор отдельных функциональных слоев-карт и справочного материала к ним, сортированных по папкам, то есть имеющих древовидную структуру. Верхний уровень содержит две папки. Первая папка «Полигоны крупномасштабного картографирования» содержит все карты экосистем и справочные материалы (легенды, описания, ссылки и т.д.) по модельным полигонам и ключевым участкам. Методика создания крупномасштабных полигонов и участков, детальное их описание представлены в предыдущих работах авторов (Бажа и др., 2018, 2021). В базе данных карты экосистем полигонов и ключевых участков представлены в виде векторных слоев.

Папка «Экосистемы бассейна оз. Байкал» включает набор карт экосистем бассейна в

масштабе 1:500000 и справочных материалов к ним, упорядоченных по административно-территориальным единицам на уровне административных районов в РФ и сомонов в Монголии. Справочный материал содержит ссылки на файлы, содержащие анализ пространственной структуры определенного региона.

Конечным уровнем данного типа данных «Группы ресурсов» являются векторные слои, которые и представляют карты экосистем. Использование данного типа ресурсов необходимо для загрузки и копирования векторных слоев просматриваемой единицы. Полный доступ к загрузке векторных слоев открыт для пользователей, которые обратились к администратору по электронному адресу, указанному на стартовой странице базы данных в разделе «Описание».

Тип данных «Справочники» представляет собой вложенные базы данных, содержащие два элемента: собственно справочник и описание к нему. Основное назначение такого справочника – информационное. Пользователю доступны расшифровки к легендам отдельных слоев. Элемент «Описание» содержит иную информацию справочного характера (методику и методологию построения, ссылки на источники информации, анализ данного слоя и т.д.).

Тип данных «Веб-карта» представляет собой отдельную пространственную базу данных, отраженную в картографическом виде. Она содержит набор картографических материалов иерархически организованных, одновременно доступных и управляемых для пользователя. Получение справочной информации о слое или ином типе данных, а также метаданных об отдельных просматриваемых картографических единицах (отдельных экосистемах) осуществляется из управления всей «Веб-картой» (кнопка **Слой ▼**). Данный элемент для более удобного использования настроен только на работу с типом «Векторный слой». Одновременно под управлением данного элемента может находиться до 20 векторных слоев.

Заключение

Разработанная пространственная база данных представляет собой картографический веб-сервис и предназначена для использования на любых персональных компьютерах, рабочих станциях, ноутбуках, планшетах, смартфонах работающих на ОС Windows 2000/XP /2003/2008 /Vista/7/8/10/11 и Android, в том числе мобильных ОС, имеющих доступ в интернет. База данных объемом более 5 Гб, имеющая свыше 3.5 млн. заполненных ячеек атрибутивной информации³. Адрес базы данных: <https://mon-exp.nextgis.com/resource/> (ГИС «Экосистемы бассейна оз. Байкал», 2022).

БД построена на платформе и серверах компании Next-GIS (Москва) на контрактной основе, но полностью администрируется сотрудниками лаборатории Экологии аридных территорий Института проблем экологии и эволюции РАН (соавторами БД). Разработанная БД представляет собой картографический веб-сервис, в который интегрированы все карты, поименованные выше. Любой пользователь имеет доступ ко всей БД сразу (все данные, интегрированные в веб-карту «Экосистемы бассейна оз. Байкал»), где он сможет просматривать и аннотировать данные, а также к отдельным картографическим единицам (папка «Карта экосистем бассейна оз. Байкал»).

Для получения полного доступа к данным пользователю необходимо обратиться по указанному в базе почтовому адресу для прохождения верификации пользователя. Подробная инструкция по работе с БД встроена в ее описание, которое находится на стартовой странице базы.

³ Так как база данных динамично пополняется как элементно (дополнения к уже существующим слоям-картам), так и структурно (добавление новых карт-слоев), здесь представлено описание содержания базы по состоянию на конец января 2022 г.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках Научной программы деятельности Совместной Российской-Монгольской комплексной биологической экспедиции РАН и АНМ в области долговременных исследований по биологии и экологии, а также поддержано грантами РГО-РФФИ (№ 13-05-41266) и РФФИ (№ 17-29-05019).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антропогенная трансформация природных систем и социально-экономические последствия в бассейне р. Селенги. 2012 / Ред. Б.Л. Раднаев. Улан-Удэ: Изд-во БГУ. 260 с.
2. Арманд А.Д. 1975. Информационные модели природных комплексов. М.: Наука. 126 с.
3. Бажа С.Н., Андреев А.В., Богданов Е.А., Данжалаева Е.В., Дробышев Ю.И., Петухов И.А., Рупышев Ю.А., Убугунова В.И., Иванов Л.А., Хадбаатар С., Цыремпилов Э.Г. 2021. Причинно-следственный анализ деградации экосистем бассейна Байкала на основе долговременного мониторинга сети модельных полигонов // Аридные экосистемы. Т. 21. № 2 (87). С. 11-24. [Bazha S.N., Andreev A.V., Bogdanov E.A., Danzhalova E.V., Drobyshev Yu.I., Petukhov I.A., Rupyshev Yu.A., Ubugunova V.I., Ivanov L.A., Khadbaatar S., Tsyrempilov E.G. 2021. Analysis of the Cause and Effect of Ecosystem Degradation in the Lake Baikal Basin Based on Long-Term Monitoring in the Network of Model Polygons // Arid Ecosystems. Vol. 11. No. 2. Pp. 124-134.]
4. Бажа С.Н., Востокова Е.А., Гунин П.Д., Дугаржав Ч., Данжалаева Е.В., Воробьёв К.А., Прищепа А.В., Петухов И.А. 2013. Геоинформационное картографирование наземных экосистем бассейна Селенги на примере модельных участков (методические рекомендации). М.: Россельхозакадемия. 109 с.

REFERENCES

1. Anthropogenic transformation of natural systems, and socio-economic consequences in the basin of the Selenga River [Antropogennaya transformatsiya prirodykh sistem i sotsial'no-ekonomicheskiye posledstviya v basseyne r. Selengi] / ed. B.L. Radnaev. Ulan-Ude: Publishing House of BGU, 2012:260.
2. Armand AD. Information models of natural complexes [Informatsionnyye modeli prirodykh kompleksov]. Moscow: Nauka, 1975:126.
3. Bazha SN, Andreev AV, Bogdanov EA, Danzhalova EV, Drobyshev YuI, Petukhov IA, Rupyshev YuA, Ubugunova VI, Ivanov LA, Khadbaatar S, Tsyrempilov EG. Analysis of the Cause and Effect of Ecosystem Degradation in the Lake Baikal Basin Based on Long-Term Monitoring in the Network of Model Polygons [Prichinno-sledstvennyy analiz degradatsii ekosistem basseyna Baykala na osnove dolgovremennogo monitoringa seti model'nykh poligonov] Arid Ecosystems. 2021;21(2):11-24.
4. Bazha SN, Vostokova EA, Gunin PD, Dugarzhav Ch, Danzhalova EV, Vorobyov KA, Prishchepa AV, Petukhov IA. Geoinformation mapping of terrestrial ecosystems of the Selenga basin on the example of model sites (methodological guidelines) [Geoinformatsionnoye kartografirovaniye nazemnykh ekosistem basseyna Selengi na primere model'nykh uchastkov (metodicheskiye rekomendatsii)]. Moscow: Rosselkhozakademiya, 2013:109.
5. Bazha SN, Danzhalova EV, Drobyshev YuI, Khadbaatar S. Transformation of terrestrial ecosystems in the southern part of the Baikal basin [Transformatsiya nazemnykh ekosistem yuzhnay chasti basseyna Baykala]. Moscow: KMK, 2018:402.
6. Belov AV, Sokolova LP, Tuvshintogtokh I. Vegetation [Rastitel'nost']. Map, Scale 1:5000000 [Karta] Ecological atlas of the

5. Бажа С.Н., Данжалова Е.В., Дробышев Ю.И., Хадбаатар С. 2018. Трансформация наземных экосистем южной части бассейна Байкала. М.: КМК. 402 с.
6. Белов А.В., Соколова Л.П., Тувшинтогтох И. 2015. Растительность. Карта. Масштаб 1:5000000 // Экологический атлас бассейна оз. Байкал. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. С. 34-36.
7. Берлянт А.М. 1997. Геоинформационное картографирование. М.: Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Российская академия естественных наук. 64 с.
8. Быков Б.А. 1978. Что такое конассоциация? // Ботанический журнал. Т. 56. № 10. С. 1381-1387.
9. ГИС «Экосистемы бассейна оз. Байкал». 2022 [Электронный ресурс] <https://mon-exp.nextgis.com/resource/> (дата обращения 31.01.2022).
10. Водные экосистемы бассейна Селенги. 2009 / Ред. Ю.Ю. Дгебуадзе, Н.И. Дорофеюк, А.В. Крылов. М.: Россельхозакадемия. 406 с.
11. Доржготов Д. 1992. Почвы Монголии (генезис, систематика, география, ресурсы и использование). Автореферат дисс. ... докт. геогр. наук. М.: МГУ. 51 с.
12. Доклад «О состоянии окружающей среды бассейна озера Байкал». 2015. Аналитический обзор публикаций экологической и природоохранной тематики: ООО «Пульс радио». 136 с. [Электронный ресурс: <http://bic.iwlearn.org/ru/dokumenty/doklad-o-sostoyanii-okrughayushchey-sredy-basseina-ozera-baikal-2012-2013-gg/view> (дата обращения: 02.04.2022)].
13. Дьяконов К.Н., Пузаченко Ю.Г. 2004. Теоретические положения и направления исследований Baikal Lake basin [Ekologicheskiy atlas basseyna oz. Baykal]. Irkutsk: Izd-vo Instituta geografii im. V.B. Sochavy SO RAN, 2015:34-36.
7. Berlyant AM. Geoinformation mapping [Geoinformatsionnoye kartografirovaniye]. Moscow: M.V. Lomonosov Moscow State University, Russian Academy of Natural Sciences, 1997:64.
8. Bykov BA. What is conassociation? [Что такое конассоциация?] Botanical Journal. 1978;56(10):1381-1387.
9. GIS “Ecosystems of the Baikal Lake basin” [GIS “Ekosistemy basseyna oz. Baykal”]. 2022, Available at <https://mon-exp.nextgis.com/resource/> (Date of Access 31/01/2022).
10. Water ecosystems of the Selenga basin [Vodnyye ekosistemy basseyna Selengi] / eds. Yu.Yu. Dgebuadze, N.I. Dorofeyuk, A.V. Krylov. Moscow: Rossel'khozakademiya, 2009:406.
11. Dorzhgotov D. Soils of Mongolia (genesis, taxonomy, geography, resources and use) [Pochvy Mongolii (genezis, sistematika, geografiya, resursy i ispol'zovaniye)]. PhD Thesis in Geographical Sciences. Moscow: MGU, 1992:51.
12. Report “On the state of the environment in the Baikal basin” [Doklad “O sostoyanii okrughayushchey sredy basseyna ozera Baykal”] Analytical review of publications on environmental and environmental topics: Pulse Radio LLC [Analiticheskiy obzor publikatsiy ekologicheskoy i prirodoobhrannoy tematiki: OOO “Pul’s radio”]. 2015:136, Available at <http://bic.iwlearn.org/ru/dokumenty/doklad-o-sostoyanii-okrughayushchey-sredy-basseina-ozera-baikal-2012-2013-gg/view> (Date of Access 02/04/2022).
13. Dyakonov KN, Puzachenko YuG. Theoretical provisions and directions of research of modern landscape science [Teoreticheskiye polozheniya i napravleniya issledovaniy sovremenennogo landshaftovedeniya] Geography, society and the environment [Geografiya obshchestvo i okrughayushchaya sreda] Vol. II, Functioning and current state of landscapes [Funktzionirovaniye i

- современного ландшафтования // География общества и окружающая среда. Т. II. Функционирование и современное состояние ландшафтов. С. 21-30.
14. Исаченко А.Г. 2016. Методология ландшафтования и ландшафтно-географический научный метод // Известия русского географического общества. Т. 148. № 1. С. 15-30.
15. Кесель Э.А., Мороз А.В., Губаревич Е.С., Мыслыва Т.Н. 2019. Комплексный морфометрический анализ территории с использованием функциональных возможностей ГИС // Аграрная наука – сельскому хозяйству: Сборник материалов XIV Международной научно-практической конференции. Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет, 2019. С. 345-347.
16. Колбовский Е.Ю. 2016. Геоинформационное моделирование и картографирование ландшафтных местоположений // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. № 5. С. 20-24.
17. Колесников Б.П. 1956. Кедровые леса Дальнего Востока. М-Л.: Изд-во АН СССР. 262 с.
18. Куминова А.В., Седельников В.П., Мaskaев Ю.М. 1985. Растительный покров и естественные кормовые угодья Тувинской АССР. Новосибирск: Наука. 256 с.
19. Курочкина Л.З., Малукбекова Г.П., Плисак Р.П., Родионов Б.С. 1977. Использование таксонов различных рангов при изучении структуры растительного покрова (на примере бассейна р. Или) // Пятое Всесоюзное совещание по классификации растительности. Новосибирск. С. 45-47.
20. Лебедева И.И., Овечкин С.В., Королюк Т.В., Герасимова М.И. 2012. Почвенно-генетическое районирование: принципы, задачи, структура, приложение // *sovremennoye sostoyaniye landshaftov].* 2004:21-30.
14. Isachenko AG. Methodology of landscape science and landscape-geographical scientific method [Metodologiya landshaftovedeniya i landshaftno-geograficheskiy nauchnyy metod] *Bulletin of the Russian Geographical Society [Izvestiya russkogo geograficheskogo obshchestva].* 2016;148(1):15-30.
15. Kesel EA, Moroz AV, Gubarevich ES, Myslyva TN. Comprehensive morphometric analysis of the territory using the functionality of GIS [Kompleksnyy morfometricheskiy analiz territorii s ispol'zovaniyem funktsional'nykh vozmozhnostey GIS] *Agrarian science for agriculture: Collection of materials of the XIV International Scientific and Practical Conference [Agrarnaya nauka – sel'skomu khozyaystvu: Sbornik materialov XIV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii].* Barnaul: Altayskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, 2019:345-347.
16. Kolbovsky EYu. Geoinformation modeling and mapping of landscape locations [Geoinformatsionnoye modelirovaniye i kartografirovaniye landshaftnykh mestopolozheniy] *News of Higher Educational Institutions [Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy]. Geodesy and Aerial Photography [Geodeziya i aerofotos'yemka].* 2016;5:20-24.
17. Kolesnikov BP. Cedar forests of the Far East [Kedrovyye lesa Dal'nego Vostoka]. Moscow-Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1956:262.
18. Kuminova AV, Sedelnikov VP, Maskaev YuM. Vegetation cover and natural fodder lands of the Tuva ASSR [Rastitel'nyy pokrov i yestestvennyye kormovyye ugod'ya Tuvinskoy ASSR]. Novosibirsk: Nauka, 1985:256.
19. Kurochkina LZ, Malukbekova GP, Plisak RP, Rodionov BS. The use of taxa of various ranks in the study of the structure of the vegetation cover (on the example of the Ili river basin) [Ispol'zovaniye taksonov razlichnykh rangov pri izuchenii struktury rastitel'nogo pokrova (na primere basseyna r. Ili)] *Fifth All-Union Conference on the classification of vegetation [Pyatoye Vsesoyuznoye soveshchaniye po klassifikatsii rastitel'nosti].* Novosibirsk,

- Почвоведение. № 7. С. 715-727.
- 1977:45-47.
21. Национальный атлас почв Российской Федерации. 2011. М.: Астрель [Электронный ресурс <https://soil-db.ru/soilatlas> (дата обращения 20.03.2022)].
22. Общесоюзная классификация сенокосов и пастбищ по зонам страны. 1987. М.: Агропромиздат. 144 с.
23. Петухов И.А. 1984. Опыт экологотопографического анализа растительности кормовых угодий Убсунурской котловины в Тувинской АССР (Закономерности территориального распределения, классификация, рациональное хозяйственное использование). Автореф. дисс. ... к.б.н. М. 24 с.
24. Полевой определитель почв России. 2008. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева. 182 с.
25. Почвы. 2015. Карта, масштаб 1:5000000 // Экологический атлас бассейна оз. Байкал. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. С. 39.
26. Рухович Д.И., Королева П.В., Калинина Н.В., Вильчевская Е.В., Симакова М.С., Долинина Е.А., Рухович С.В. 2013. Государственная почвенная карта – версия ArcInfo // Почвоведение. № 3. С. 251-267.
27. Савенкова Т.П. 2002. Охраняемые природные территории бассейна озера Байкал: Атлас. Иркутск: Оттиск. 95 с.
28. Софронов А.П. 2015. Эволюция и динамика растительности котловин Северо-Восточного Прибайкалья. Автореф. дисс. ... к.г.н. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. 24 с.
29. Старожилов В.Т. 2018. Метод векторно-слоевого ландшафтного картографирования и районирования // Проблемы региональной экологии. № 2. С. 134-138.
30. Тулохонов А.К. 1996. Байкальский регион: проблемы устойчивого 20. Lebedeva II, Ovechkin SV, Korolyuk TV, Gerasimova MI. Soil genetic zoning: principles, tasks, structure, application [Pochvenno-geneticheskoye rayonirovaniye: printsipy, zadachi, struktura, prilozheniye] Eurasian Soil Science [Pochvovedeniye]. 2012;7:715-727.
21. National Soil Atlas of the Russian Federation [Natsional'nyy atlas pochv Rossiyskoy Federatsii]. Moscow: Astrel, 2011, Available at <https://soil-db.ru/soilatlas> (Date of Access 20/03/2022).
22. All-Union classification of hayfields and pastures by country zones [Obshchesoyuznaya klassifikatsiya senokosov i pastbishch po zonam strany]. Moscow: Agropromizdat, 1987:144.
23. Petukhov IA. Experience in ecological and topographical analysis of the vegetation of forage lands in the Ubsunur basin in the Tuva ASSR (patterns of territorial distribution, classification, rational economic use) [Opyt ekologo-topograficheskogo analiza rastitel'nosti kormovykh ugodiy Ubsunurskoy kotloviny v Tuvinskoy ASSR (Zakonomernosti territorial'nogo raspredeleniya, klassifikatsiya, ratsional'noye khozyaystvennoye ispol'zovaniye)]. PhD Thesis in Biological Sciences. Moscow, 1984:24.
24. Field determinant of Russian soils [Polevoy opredelitel' pochv Rossii]. Moscow: Pochvennyi institut im. V.V. Dokuchayeva, 2008:182.
25. Soils [Pochvy]. Map, Scale 1:5000000 [Karta] Ecological atlas of the Baikal Lake basin [Ekologicheskiy atlas basseyna oz. Baykal]. Irkutsk: Izd-vo Instituta geografii im. V.B. Sochavy SO RAN, 2015:39.
26. Rukhovich DI, Koroleva PV, Kalinina NV, Vilchevskaya EV, Simakova MS, Dolinina EA, Rukhovich SV. State soil map – ArcInfo version [Gosudarstvennaya pochvennaya karta – versiya ArcInfo] Eurasian Soil Science [Pochvovedeniye]. 2013;3:251-267.
27. Savenkova TP. Protected natural areas of the Baikal basin: Atlas [Okhranyayemyye prirodnyye territorii basseyna ozera Baykal: Atlas]. Irkutsk: Ottisk, 2002:95.

- развития. Новосибирск: Наука. 208 с.
31. Убугунов Л.Л., Убугунова В.И., Бадмаев Н.Б., Гынинова А.Б., Убугунов В.Л., Балсанова Л.Д. 2012. Почвы Бурятии: разнообразие, систематика и классификация // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. № 2. С. 45-52.
32. Убугунов Л.Л., Гынинова А.Б., Белозерцева И.А., Доржготов Д., Убугунова В.И., Сороковой А.А., Убугунов В.Л., Бадмаев Н.Б., Гончиков Б.Н. 2018. Географические закономерности распределения почв на водосборной территории оз. Байкал (к карте «Почвы бассейна оз. Байкал») // Природа Внутренней Азии. № 2 (7). С. 7-26.
33. Уфимцева К.А. 1963. О горных таежных почвах Забайкалья // Почвоведение. № 3. С. 51-62.
34. Хадбаатар С. 2010. Ландшафтно-экологические особенности деградации богарных земель центральной части бассейна Селенги. Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. М. 27 с.
35. Цыблжистов Ц.Х. 1971. Почвы лесостепи Селенгинского среднегорья. Улан-Удэ: Бурятское книжное издательство. 107 с.
36. Чердонова В.А. 2003. Современное состояние и процессы трансформации растительного покрова российской части бассейна реки Селенги. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. М. 26 с.
37. Шишиов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. 2004. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена. 342 с.
38. Экологический атлас бассейна оз. Байкал. 2015. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. 145 с. [Электронный ресурс <http://bic.iwlearn.org/ru/atlas/atlas> (дата обращения 24.03.2020)].
39. Карта Экосистем бассейна Селенги.
28. Sofronov AP. Evolution and dynamics of vegetation in the basins of the North-Eastern Baikal region [Evolyutsiya i dinamika rastitel'nosti rastvorov Severo-Vostochnogo Pribaykal'ya] PhD Thesis in Geographical Sciences. Irkutsk: Izd-vo Instituta geografii im. V.B. Sochavy SO RAN, 2015:24.
29. Starozhilov VT. Method of vector-layer landscape mapping and zoning [Metod vektorno-sloyevogo landshaftnogo kartografirovaniya i rayonirovaniya] Problems of Regional Ecology [Problemy regional'noy ekologii]. 2018;2:134-138.
30. Tulokhonov AK. Baikal region: problems of sustainable development [Baykal'skiy region: problemy ustoychivogo razvitiya]. Novosibirsk: Nauka, 1996:208.
31. Ubugunov LL, Ubugunova VI, Badmaev NB, Gyninova AB, Ubugunov VL, Balsanova LD. Soils of Buryatia: diversity, systematics and classification [Pochvy Buryatii: raznoobrazie, sistematika i klassifikatsiya] Bulletin of the V.R. Filippov Buryat State Agricultural Academy [Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii im. V.R. Filippova]. 2012;2:45-52.
32. Ubugunov LL, Gyninova AB, Belozertseva IA, Dorzhgotos D, Ubugunova VI, Sorokova AA, Ubugunov VL, Badmaev NB, Gonchikov BN. Geographic patterns of soil distribution in the catchment area of Baikal Lake (to the map “Soils of the Baikal Basin”) [Geograficheskiye zakonomernosti raspredeleniya pochv na vodosbornoy territorii oz. Baykal (k karte «Pochvy basseyna oz. Baykal»)] Nature of Inner Asia [Priroda Vnutrenney Azii]. 2018;2(7):7-26.
33. Ufimtseva KA. On the mountain taiga soils of Transbaikalia [O gornykh tayezhnykh pochvakh Zabaykal'ya] Eurasian Soil Science [Pochvovedeniye]. 1963;3:51-62.
34. Khadbaatar S. Landscape and ecological features of the degradation of rainfed lands in the central part of the Selenga basin [Landshaftno-ekologicheskiye osobennosti degradatsii bogarnykh zemel' tsentral'noy chasti basseyna Selengi]. PhD Thesis in Geographical Sciences. Moscow, 2010:27.
35. Tsybzhitov TsKh. Soils of the forest-steppe of the Selenga middle mountains [Pochvy lesostepi

- Масштаб 1:500000. 1 л. // Экосистемы бассейна Селенги. 2005 / Ред. Е.А. Востокова, П.Д. Гунин. М.: Наука. 359 с.
40. Ecosystem of Mongolia: Atlas. 2019 / Eds. P.D. Gunin, M. Saandar. M.-Ulaanbaatar: KMK Scientific Press. 262 p.
41. Google.Earth. 2022 [Электронный ресурс <https://earth.google.com/web/> (дата обращения 12.10.2021)].
42. Kopecký M., Čížková Š. 2010. Using Topographic Wetness Index in Vegetation Ecology: Does the Algorithm Matter? // Applied Vegetation Science. Vol. 13. No. 4. Pp. 450-459.
43. Ma J., Lin G., Chen J., Yang L. 2010. An Improved Topographic Wetness Index Considering Topographic Position // 18th International Conference on Geoinformatics. Pp. 1-4.
44. Mokarram M., Darvishi A., Negahban S. 2017. The Relation between Morphometric Characteristics of Watersheds and Erodibility at Different Altitude Levels Using Topographic Position Index (TPI). Case Study: Nazloochaei Watershed // Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR). Vol. 26. No. 101. Pp. 131-142.
45. Moore I.D., Grayson R.B., Ladson A.R. 1991. Digital Terrain Modelling: A Review of Hydrological, Geomorphological and Biological Applications // Hydrological Processes. Vol. 5. No. 1. P. 3-30.
46. Różycka M., Migoń P., Michniewicz A. 2017. Topographic Wetness Index and Terrain Ruggedness Index in Geomorphic Characterization of Landslide Terrains, on Examples from the Sudetes, SW Poland // Zeitschrift für geomorphologie. Supplementary issues. Vol. 61. Pp. 61-80.
47. Sørensen R., Zinko U., Seibert J. 2006. On the Calculation of the Topographic Wetness Index: Evaluation of Different Selenginskogo srednegor'ya]. Ulan-Ude: Buryatskoye knizhnnoye izdatel'stvo, 1971:107.
36. Cherdonova VA. Modern state and processes of transformation of the vegetation cover of the Russian part of the Selenga river basin [Sovremennoye sostoyaniye i protsessy transformatsii rastitel'nogo pokrova rossiyskoy chasti basseyna reki Selengi] PhD Thesis in Biological Sciences. Moscow, 2003:26.
37. Shishov LL, Tonkonogov VD, Lebedeva II, Gerasimova MI. Classification and diagnostics of Russian soils [Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii]. Smolensk: Oykumena, 2004:342.
38. The Ecological Atlas of the Baikal Basin [Ekologicheskiy atlas basseyna oz. Baykal]. Irkutsk: V.B. Sochava Institute of Geography of SB RAS, 2015:145, Available at <http://bic.iwlearn.org/ru/atlas/atlas> (Date of Access 24/03/2020).
39. Map of the ecosystems of the Selenga River basin, Scale 1:500000 [Karta ekosistem basseyna Selengi] Ecosystems of the Selenga basin [Ekosistemy basseyna Selengi] / eds. E.A. Vostokova, P.D. Gunin. Moscow: Nauka, 2005:1.
40. Ecosystem of Mongolia: Atlas / eds. P.D. Gunin, M. Saandar. Moscow-Ulaanbaatar: KMK Scientific Press, 2019:262.
41. Google.Earth. 2022, Available at <https://earth.google.com/web/> (Date of Access 12/10/2021).
42. Kopecký M, Čížková Š. Using Topographic Wetness Index in Vegetation Ecology: Does the Algorithm Matter? *Applied Vegetation Science*. 2010;13(4):450-459.
43. Ma J, Lin G, Chen J, Yang L. An Improved Topographic Wetness Index Considering Topographic Position. 18th International Conference on Geoinformatics. 2010:1-4.
44. Mokarram M, Darvishi A, Negahban S. The Relation between Morphometric Characteristics of Watersheds and Erodibility at Different Altitude Levels Using Topographic Position Index (TPI). Case Study: Nazloochaei Watershed Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR). 2017;26(101):131-142.
45. Moore ID, Grayson RB, Ladson AR. Digital Terrain Modelling: A Review of Hydrological,

- Methods Based on Field Observations // *Hydrology and Earth System Sciences*. Vol. 10. No. 1. P. 101-112.
48. Tağıl S., Jenness J. 2008. GIS-based Automated Landform Classification and Topographic, Landcover and Geologic Attributes of Landforms around the Yazoren Polje, Turkey // *Journal of Applied Sciences*. No. 8. Pp. 910-921.
49. USGS. 2021 [Электронный ресурс <https://earthexplorer.usgs.gov> (дата обращения 10.11.2021)].
50. Weiss A.D. 2000. Topographic Position and Landforms Analysis. Poster. [Электронный ресурс http://www.jennessent.com/downloads/tpi-poster-tnc_18x22.pdf (дата обращения 12.11.2021)].
51. The Plant List. 2022. [Электронный ресурс <http://www.theplantlist.org/>] (дата обращения 10.04.2022).
46. Różycka M, Migoń P, Michniewicz A. Topographic Wetness Index and Terrain Ruggedness Index in Geomorphic Characterization of Landslide Terrains, on Examples from the Sudetes, SW Poland. *Zeitschrift für geomorphologie*. Supplementary issues. 2017;61:61-80.
47. Sørensen R, Zinko U, Seibert J. On the Calculation of the Topographic Wetness Index: Evaluation of Different Methods Based on Field Observations. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2006;10(1):101-112.
48. Tağıl S, Jenness J. GIS-based Automated Landform Classification and Topographic, Landcover and Geologic Attributes of Landforms around the Yazoren Polje, Turkey. *Journal of Applied Sciences*. 2008;8:910-921.
49. USGS. 2021, Available at <https://earthexplorer.usgs.gov> (Date of Access 10/11/2021).
50. Weiss AD. Topographic Position and Landforms Analysis: Poster. 2000, Available at http://www.jennessent.com/downloads/tpi-poster-tnc_18x22.pdf (Date of Access 12/11/2021).
51. The Plant List. 2022, Available at <http://www.theplantlist.org/> (Date of Access 10/04/2022).

UDC 581.5:528.94

ECOSYSTEMS OF THE BAIKAL BASIN: DIGITAL MAP AND GEOINFORMATION DATABASE

© 2022. S.N. Bazha*, A.V. Andreev*, E.A. Bogdanov*, E.V. Danzhalova*, Yu.I. Drobyshev*, I.A. Petukhov*, Yu.A. Rupyshev**

*A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences
33, Leninsky Prospect, Moscow, 119071, Russia. E-mail: monexp@mail.ru

**Institute of General and Experimental Biology of the Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences
6, Sakhyanovoy Str., Ulan-Ude, 670047, Russia. E-mail: rupyshev@mail.ru

Received June 14, 2022. Revised August 01, 2022. Accepted September 01, 2022.

The digital map “Ecosystems of the Baikal Lake Basin” (scale 1:500000) was compiled by deciphering the actual satellite imagery, while using the previously created materials of thematic mapping of various scales, obtained for different territories within the basin, as well as the authors’ field descriptions of ecosystems and vegetation. The map shows composition, structure, current state

of terrestrial ecosystems, and new areas of anthropogenic ecosystems that have greatly expanded in comparison with the mapping data of previous years. The legend of the map includes 71 samples of ecosystems, which correspond to the landscape units “stow/sub-stow”.

To display the spatial variability of the natural components of ecosystems, the corresponding digital layer maps (combined GIS) were developed for morphogenetic types of relief, soil cover and vegetation of the basin, developed on the basis of interpolation of various published thematic data and supplemented with information from archives and materials from more than 50 years of field study of soils and vegetation cover by the Joint Russian-Mongolian Complex Biological Expedition of the Russian Academy of Sciences and the Academy of Sciences of Mongolia (JRMCBE).

The created spatial database of 5.1 GB is a cartographic Web service. It is intended for open use on any personal computers, workstations, laptops, tablets, smartphones running Windows and Android, including mobile ones with Internet access. The database includes spatial information on ecosystems and their anthropogenic disturbance on 9 model polygons (1:200000 and larger scales) and 9 key areas (1:5000 to 1:10000 scales), as well as from 1757 geobotanical descriptions.

Keywords: Baikal basin, geoinformation ecological mapping, ecosystems, interpretation, anthropogenic factors, database, GIS.

Funding. This work is carried out as part of the scientific program of the Joint Russian-Mongolian Complex Biological Expedition of the Russian Academy of Sciences and Academy of Sciences of Mongolia in a field of long-term biological and ecological researches, and supported by the grants of the RGS-RFBR (No. 13-05-41266) and the Russian Foundation for Basic Research (No. 17-29-05019).

DOI: 10.24412/2542-2006-2022-3-120-171

EDN: FZDSSD