

Том
Volume

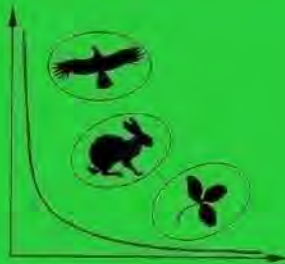
7

Номер
Number

1

Март
March

2023



**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 биосферы), 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**

2023

WATER PROBLEMS INSTITUTE
RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

**ECOSYSTEMS:
ECOLOGY AND DYNAMICS**

Vol. 7, No. 1, 2023, March

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

2023

ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ЭКОСИСТЕМЫ: ЭКОЛОГИЯ И ДИНАМИКА

Том 7, № 1, 2023, март

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. Сулова

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

2023

© 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 7, номер 1, 2023 март

МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ, ПОДДЕРЖАНИЯ И СОХРАНЕНИЯ ЭКОСИСТЕМ И ИХ КОМПОНЕНТОВ

Методические подходы к оценке состояния орошаемых земель
сухостепной зоны Волгоградской области с использованием космических снимков
[на русском; аннотация на русском и английском]

И.Н. Горохова, Е.И. Панкова 5-37

Methodological Approaches to Assessing the State of Irrigated Land
in the Dry Steppe Zone of the Volgograd Region Using Satellite Images
[на английском; аннотация на английском и русском]

I.N. Gorokhova, E.I. Pankova 38-65

Выделение карбонатных почв на Волго-донской оросительной системе
(Волгоградская область) с использованием космической информации
[на русском; аннотация на русском и английском]

И.Н. Горохова, И.Н. Чурсин, Н.Б. Хитров, Н.К. Круглякова 66-91

Satellite Data to Help Distinguish Calcareous Soils
in the Volga-Don Irrigation System, Volgograd Region
[на английском; аннотация на английском и русском]

I.N. Gorokhova, I.N. Chursin, N.B. Khitrov, N.K. Kruglyakova 92-114

РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ОХРАНА ЭКОСИСТЕМ И ИХ КОМПОНЕНТОВ

Млекопитающие национального парка «Токинско-Становой»
[на русском; аннотация на русском и английском]

*С.А. Подольский, Ю.А. Дарман, А.А. Кадетова, В.А. Кастрикин,
К.П. Павлова, Т.А. Доманов* 115-161

Mammals of the Tokinsko-Stanovoy National Park
[на английском; аннотация на английском и русском]

*S.A. Podolskiy, Yu.A. Darman, A.A. Kadetova, V.A. Kastrikin,
K.P. Pavlova, T.A. Domanov* 162-204

CONTENTS

Volume 7, Number 1, 2023 March

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

Methodological Approaches to Assessing the State of Irrigated Land in the Dry Steppe Zone of the Volgograd Region Using Satellite Images
[in Russian; Abstract is available in Russian and English]

I.N. Gorokhova, E.I. Pankova 5-37

Methodological Approaches to Assessing the State of Irrigated Land in the Dry Steppe Zone of the Volgograd Region Using Satellite Images
[in English; Abstract is available in English and Russian]

I.N. Gorokhova, E.I. Pankova 38-65

Satellite Data to Help Distinguish Calcareous Soils in the Volga-Don Irrigation System, Volgograd Region
[in Russian; Abstract is available in Russian and English]

I.N. Gorokhova, I.N. Chursin, N.B. Khitrov, N.K. Kruglyakova 66-91

Satellite Data to Help Distinguish Calcareous Soils in the Volga-Don Irrigation System, Volgograd Region
[in English; Abstract is available in English and Russian]

I.N. Gorokhova, I.N. Chursin, N.B. Khitrov, N.K. Kruglyakova 92-114

DISTRIBUTION AND PROTECTION OF ECOSYSTEMS AND THEIR COMPONENTS

Mammals of the Tokinsko-Stanovoy National Park
[in Russian; Abstract is available in Russian and English]

S.A. Podolskiy, Yu.A. Darman, A.A. Kadetova, V.A. Kastrikin, K.P. Pavlova, T.A. Domanov 115-161

Mammals of the Tokinsko-Stanovoy National Park
[in English; Abstract is available in English and Russian]

S.A. Podolskiy, Yu.A. Darman, A.A. Kadetova, V.A. Kastrikin, K.P. Pavlova, T.A. Domanov 162-204

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

УДК 631.4

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ
ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ СУХОСТЕПНОЙ ЗОНЫ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ**

© 2023 г. И.Н. Горохова, Е.И. Панкова

Почвенный институт им. В.В. Докучаева

Россия, 119017, г. Москва, Пыжевский пер., стр. 7. E-mail: g-irinal4@yandex.ru

Поступила в редакцию 16.12.2022. После доработки 01.02.2023. Принята к публикации 02.02.2023.

В статье представлены материалы исследований в Волгоградской области, которые могут быть положены в основу методических рекомендаций для картографирования, определения площадей и состояния орошаемых земель с использованием космических снимков. Эти материалы опираются на многолетний опыт, полученный при изучении орошаемых земель в зоне солонцовых комплексов сухой степи. Привлечение материалов космической съемки поможет картографировать и определить: 1) площади орошаемых земель, 2) площади и возраст залежных земель на орошаемых массивах, 3) состояние орошаемых почв и факторы, ограничивающих их плодородие. Сельскохозяйственные культуры в различных гидрогеологических условиях по-разному реагируют на лимитирующие факторы, поэтому при составлении карт рекомендуется придерживаться следующих этапов картографирования: выделять поля с разными культурами и залежью; выявлять наличие пятен с разреженностью или отсутствием сельскохозяйственных культур на снимках; в полевых условиях и на базе проведенных анализов отобранных почвенных образцов устанавливать причину пятен, выявленных по изображению; используя результаты полевых исследований, подбирать алгоритм для обработки космических снимков. Пятнистость орошаемых полей, отраженная на космических снимках, имеет разную природу, поэтому интерпретация дистанционных материалов требует обязательного изучения особенностей района исследований. Пятнистость, связанная с вторичным и остаточным засолением почв, определяется по состоянию растительности, поэтому важен период проведения космической съемки, отражающий высокую вегетационную активность растений. Необходимы также сведения об уровне грунтовых вод, поскольку их критический уровень является основной причиной возникновения процесса вторичного засоления почв. Для глубокозасоленных почв стоит построить солевую карту с помощью интерполяции точечных данных, полученных в полевых условиях и на основе лабораторных анализов. Пятнистость, связанная с карбонатностью поверхностного горизонта почв, не зависит от уровня грунтовых вод и лучше всего просматривается на космических снимках с открытой поверхностью почв. Проверка и оценка точности карты может проводиться путем сравнения с картами более крупного масштаба и данными полевых наблюдений и путем оценки точности проведенной классификации космического изображения, посредством определения проверочных индексов. Представленные материалы предназначены для широкого круга специалистов, использующих космическую информацию в работе, а также для специалистов (почвоведов, агрономов, агрохимиков), работающих в аграрном секторе южных регионов России.

Ключевые слова: сухостепная зона, орошаемые земли, засоленные почвы, космические снимки, картографирование орошаемых почв.

DOI: 10.24412/2542-2006-2023-1-5-37

EDN: DTKKMP

Волгоградская область является крупнейшим сельскохозяйственным регионом России. По данным Минсельхоза (Доклада о состоянии ..., 2022), общая площадь пашни в области на 01.01.2021 составила 5794 тыс. га, из которой орошается 178.840 тыс. га.

Орошение на территории Волгоградской области началось еще в дореволюционный период, и в XIX веке площадь орошаемых земель составляла 8.7 тыс. га (Приходько, 2012). Широкое регулярное орошение стало развиваться в 50-60-х годах XX века. Пик ирригационного освоения отмечался в 1989 г., когда в орошение было вовлечено 345.2 тыс. га или 4.6% от площади сельскохозяйственных земель Волгоградской области (Панкова, Новикова, 2004). В 90-х годах в связи с общей сложной экономической ситуацией в стране площади орошаемых земель в области резко сократились. В 2001 г. они составили 259.4 тыс. га или 3.2% от площади угодий, в 2015 г. осталось только около 179 тыс. га (Панкова, Новикова, 2004; Горохова и др., 2019). Почти такой же площадь сохранилась в 2021 г. – 178.840 тыс. га.

Земли сухостепной зоны Волгоградской области активно используются в сельском хозяйстве под пашню, сенокосы и пастбища. Почвенный покров зоны представлен разнообразными почвенными комбинациями, включающими комплексы каштановых несолонцеватых и солонцеватых почв на водосборных пространствах с хорошей дренированностью, каштановые солонцовые комплексы с разным долевым участием солонцов в автоморфных, полугидроморфных и гидроморфных условиях, сочетания и пятнистости лугово-каштановых, луговых почв разной степени засоления и солонцеватости, аллювиальные почвы в долинах рек. В работах многих советских и российских исследователей были установлены основные закономерности природного состояния почв сухостепной зоны в целинных условиях на начальных и последующих этапах их активного сельскохозяйственного освоения (Антипов-Каратаев, 1953; Иванова, 1928; Иванова, Фридланд, 1954; Ковда, 1937; Роде, Польский, 1961; Фридланд, 1964; Минашина, 1978; Зимовец, 1991).

К классическим методам исследования почв солонцовых комплексов с 60-х годов XX века и по настоящее время активно добавляются такие, как дистанционное зондирование (аэро- и космическая съемки). Космический метод сегодня является одним из главных методов изучения орошаемых земель и составления карт, отражающих их состояние. Получаемые с помощью космических снимков изображения представляют собой высокоточные пространственно-временные модели. Они дают представление о динамике процесса деградации и структуры использования земель во времени. Дешифрирование космических снимков позволяет определить, с одной стороны, многообразные природные свойства орошаемых земель; с другой, важные элементы сельскохозяйственного производства: севообороты, способ орошения, мелиоративные мероприятия и т.д. Параллельно возможно распознавание ряда динамических состояний природных комплексов естественной и антропогенной обусловленности.

Активно проводится привлечение космической информации для картографирования залежных земель в России, т.к. наличие значительных площадей забрасываемых земель – современная проблема страны (Курбанов, 2010; Канатьева, 2013; Фазылова, 2014; Алдошин и др., 2015; Рухович, Шаповалов, 2015). Проводится также изучение засоленности орошаемых почв (Новикова и др., 2009; Савин и др., 2014; Конюшкова, 2014).

Оценка современного состояния орошаемых почв дистанционными методами особенно важна для малодоступных районов, что улучшает стратегию управления всем орошаемым комплексом, позволяет сократить временные и материальные затраты на наземные и лабораторные исследования.

Интерпретация дистанционных материалов требует обязательного изучения особенностей района исследований на основе полевых работ и лабораторных анализов почвенных образцов. Многолетний опыт наших исследований орошаемых земель подтверждает необходимость совместного использования наземных и дистанционных методов.

Цель данной статьи – изложить опыт и материалы многолетних исследований орошаемых земель Волгоградской области с привлечением дистанционной информации, отражающей специфику региона и представляющую интерес для разработки методических рекомендаций.

Методы исследований. В работе применяли разные методы исследования: использовалась космическая информация, а также современные приемы ее обработки. Применяли полевые исследования почв, а также лабораторные методы определения состава легкорастворимых солей (водная вытяжка (1:5) для определения суммы токсичных солей (%) и ионометрический метод: измерение активности ионов Ca^{2+} , Na^+ , Cl^- в почвенных пастах с постоянной влажностью 40% ионоселективными электродами (ммоль/л), определение CaCO_3 (%) в профиле почв (Аринушкина, 1970; Хитров, Понизовский, 1990).

1. Материалы космической съемки для оценки состояния орошаемых земель сухостепной зоны Волгоградской области

1.1. Требования к материалам космической съемки

Известно, что материалы космической съемки на протяжении последних нескольких десятилетий помогают получить объективную информацию о многих объектах исследования, об их однородности или неоднородности, об антропогенной нарушенности и характере использования.

Основными характеристиками космических снимков являются их тип. Они могут быть панхроматические, мультиспектральные в видимом, инфракрасном или радио-диапазоне спектра электромагнитных колебаний. Помимо типа важны пространственное разрешение, сезон и время съемки. Выбор космических снимков с определенными характеристиками зависит от цели исследований и свойств территории, которую предстоит изучить.

Разрешение съемки. На сегодня имеется достаточный выбор снимков высокого (до 15 м) и сверхвысокого (до 1 м) пространственного разрешения, которые могут быть заказаны для проведения работ. Для решения задач по обследованию орошаемых земель хорошо зарекомендовали себя космические мультиспектральные снимки открытого доступа съемочной системы Landsat, с разрешением 30 м в мультиспектральном и 15 м в панхроматическом диапазонах на 1 пиксел и Sentinel-2 с разрешением 10 м на 1 пиксел в мультиспектральном диапазоне.

Тип съемки. Серия зональных снимков представляет собой спектральный образ изучаемого объекта. Исходя из нашего опыта работ, для орошаемых почв рекомендуется использовать мультиспектральные (включающие RGB и инфракрасную зоны съемки) и панхроматические снимки, т.к. наиболее информативными для анализа состояния возделываемых сельскохозяйственных культур и почв являются красная и инфракрасная зоны спектра, а для повышения разрешения изображения необходимо панхроматическое изображение.

При работе с цифровыми космическими снимками необходимо использовать изображения, прошедшие следующие уровни обработки: пространственную привязку к системе координат (геокодирование), перевод в стандартный тип проекции и ортотрансформирование. При скачивании снимков Landsat и Sentinel следует иметь в виду, что они проходят оба уровня обработки – первичную радиометрическую, геометрическую коррекцию и геокодирование, перевод в стандартный тип проекции WGS-84. В таблице 1 представлены наиболее употребляемые в России проекции.

Космические цифровые снимки, поставляемые зарубежными фирмами-распространителями, уже преобразованы в систему координат WGS-84, в то время как

отечественные топографические карты составляются в государственной системе координат СК-42. Разница в значениях координат точки в этих двух системах на территории нашей страны может достигать 2 км по оси Y в системе WGS-84 (X в системе СК-42), а по другой оси – нескольких сотен метров (Лабутина, Балдина, 2011). Поэтому при совместном использовании (наложении) снимков и отечественных карт необходимо приводить их в единую систему.

Таблица 1. Наиболее распространенные геодезические системы координат и проекции.
Table 1. Main geodetic coordinate systems and projections.

Геодезическая система координат	Проекция	Эллипсоид
СК-42 (Пулково)	Гаусса-Крюгера	Красовского
WGS-84	UTM (поперечно-цилиндрическая Меркатора)	WGS-84

Согласование систем координат необходимо также в процессе наземных работ, когда координаты точек наземных наблюдений определяются приемником спутникового позиционирования (GPS, ГЛОНАСС). Однако во многих современных GPS-приемниках уже предусмотрен переход от WGS-84 к СК-42 (Пулково).

Третьим уровнем обработки снимков является ортотрансформирование. Ортотрансформирование либо заказывают как дополнительную услугу у специалистов, либо проводят самостоятельно. Оно является необходимым условием для гористой местности в связи с искажениями, возникающими из-за отклонения оптической оси камеры спутника от вертикального положения в момент съемки, а также смещения из-за рельефа. Чтобы контуры, выделенные по снимку, ложились точно на топографическую карту, необходимо их преобразовать. Даже для равнинной местности, не говоря уже о гористой, погрешность планового положения точек может составлять нескольких метров. Ниже представлена таблица 2, показывающая отклонения точек на плане от средней высоты местности и в зависимости от угла съемки.

Таблица 2. Величина ошибки на плане (карте) в зависимости от характера рельефа местности и угла отклонения съемки от нодира (Руководство пользователя ENVI ..., 2014).
Table 2. The error severity on the plan/map depending on the terrain and angle of deviation from the nadir (ENVI User Manual ..., 2014).

Угол отклонения от нодира, градусы	Отклонение высоты на плане (карте) от среднего значения рельефа на местности (м)				
	2	10	50	100	500
5	0	1	4	9	44
15	0.5	3	13	27	134
25	1	5	23	47	233

Ортотрансформирование также проводится с учетом различных моделей рельефа (ЦМР). Наиболее часто используется современная цифровая модель – SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), которая создана на основе радиолокационной съемки с космического челнока Shuttle, выполнявшего съемку в 2000 г. SRTM – это международный проект по формированию цифровой модели рельефа части земного шара (от 56° ю.ш. до 60° с.ш.).

Изначально детальность сетки этой ЦМР составляла около 30 м. В дальнейшем в открытом доступе были представлены данные, огрубленные до 90 м. Последняя версия этой модели за 2009 г. обеспечивает абсолютную точность по высоте около 16 м и относительную по высоте 10 м (Лабутина, Балдина, 2011).

Период и сезон съемки. Рекомендуется, чтобы год съемки соответствовал году исследований. Сезон должен соответствовать периоду, когда изучаемые объекты (в нашем случае – орошаемые земли) на снимках будут наиболее контрастными. Для выделения орошаемых земель лучше использовать снимки за весенне-летний период (май – начало июня). На снимках данного периода хорошо видно, какие земли возделываются, а какие – нет. Кроме того, в этот период хорошо разделяются разные сельскохозяйственные культуры (созревшие озимые зерновые, кормовые травы) и залежь (рис. 1).



А) 01.05.2016.



Б) 08.07.2016.

Рис. 1 А, Б. Изображение орошаемых земель и возделываемых на них сельскохозяйственных культур со спутника Landsat OLI-8 в разные месяцы. А (01.05.2016) – в начале мая хорошо выделяются вызревшие озимые зерновые культуры и кормовые травы; Б (08.07.2016) – в июне озимые зерновые культуры уже убраны, но еще хорошо выделяются кормовые травы.

Fig. 1 А, Б. Irrigated lands and crops on the Landsat OLI-8 images for different months:

A (01/05/2016) – in the early May winter cereals and fodder are well defined, B (08/07/2016) – in June winter cereals have been harvested, but fodder is still well defined.



В) 08.09.2016.

Рис. 1 В. Изображение орошаемых земель и возделываемых на них сельскохозяйственных культур со спутника Landsat OLI-8 в разные месяцы. В (08.09.2016) – все культуры убраны, выделяются поля со стерней озимых зерновых культур и распаханые поля. **Fig. 1 В.** Irrigated lands and crops on the Landsat OLI-8 images for different months: С (08/09/2016) – in September crops are already harvested, but the harvested fields where the winter cereals were and the plowed fields are well defined.

1.2. Предварительная обработка снимков

В настоящее время обработка снимков ведется средствами программных пакетов, специально предназначенных для такой работы. Часто такие программы обеспечивают не только извлечение информации из снимков, но и интеграцию с данными ГИС. Программные продукты для обработки снимков довольно многочисленны и различны по сложности. Среди пакетов высокого уровня наибольшее распространение получили ENVI, ERDAS Imagine и PCI Geomatica. Они обеспечивают полный комплекс обработки всех существующих в настоящее время видов съемки.

Существуют также программные комплексы в свободном доступе, обеспечивающие выполнение основных операций по обработке изображений.

Программа MultiSpec позволяет открывать, просматривать и обрабатывать многозональные, а также гиперспектральные снимки.

ILWIS, QGIS – свободно распространяемые ГИС-пакеты, которые обеспечивают не только операции по обработке снимков, включая их геометрические преобразования и координатную привязку, но также работу с картами в векторном формате. В системе предусмотрен импорт и экспорт широко используемых форматов растровых и векторных данных.

В большинстве ГИС-пакетов (AutoCADMap, MapInfo, ArcGISDesktop/Workstation и в его наиболее распространенных модулях Arc/Info, ArcView) есть возможность создания векторных карт по растровой подложке, но не предусматриваются разного вида

классификации, вычисление индексов и пр. Однако в них можно создавать векторные карты по изображениям, полученным в результате предварительной обработки снимков в специализированных программных пакетах.

Подготовка снимка. Обработка снимка включает большое множество яркостных преобразований, которые направлены на улучшение качества изображения как для визуального дешифрирования на экране, так и последующей автоматизированной обработки. Среди наиболее часто применяемых преобразований используются повышение контрастности снимка, фильтрация изображения, синтезирование разных каналов, создание индексных изображений и классификация снимка по яркости.

Фильтрация данных дистанционного зондирования является необходимым этапом их предварительной обработки для последующего анализа. Часто задача заключается в том, чтобы узнать, как изменяются спектральные свойства почв и растительности во времени, или анализировать яркостные характеристики по снимкам с разных сенсоров. В этом случае космические снимки должны быть сопоставимы. Также необходимо исключить влияние атмосферы на изображения. Внесение соответствующих поправок называют радиометрической калибровкой и атмосферной коррекцией. Радиометрическая калибровка предназначена для устранения системных помех сенсоров, а атмосферная коррекция – для устранения влияния атмосферы (рис. 2).



А) Исходное изображение снимка.



Б) Радиометрическая калибровка снимка.



В) Атмосферная коррекция снимка на основе модели MODTRAN.

Рис. 2. Результат фильтрации изображения снимка Landsat OLI-8 (09.06.2015).

Fig. 2. Filtered Landsat OLI-8 images (09/06/2015).

Другая процедура улучшения изображения космического снимка заключается в увеличении геометрического размера пиксела изображения, обычно мультиспектрального (30 м у сенсора Landsat OLI-8), путем совмещения с изображением с более высоким пространственным разрешением, как правило, панхроматического (15 м у сенсора Landsat OLI-8). Для этого используемые образы должны быть получены одним сенсором или быть в одной системе координат и одинаковой проекции. Специализированные пакетные программы, перечисленные выше, имеют специальные опции по совмещению изображений различного разрешения (рис. 3).



Рис. 3. Изображение орошаемых земель со спутника Landsat OLI-8 (01.05.2016): А – мультиспектральное, Б – полученное в результате совмещения мультиспектрального изображения с панхроматическим каналом. **Fig. 3.** A – multispectral image of irrigated lands obtained from Landsat OLI-8 on 01/05/2016, B – combination of a multispectral image and a panchromatic channel.

1.3. Предполетный этап изучения орошаемых земель

Для изучения орошаемых земель предварительно проводится выделение оросительных систем по материалам космической съемки. Орошаемые земли, в отличие от богарных, имеют свои дешифровочные признаки. Из них можно выделить основные.

1. Поля орошаемых земель, как правило, меньше по площади сельскохозяйственных полей с богарным земледелием;
2. К орошаемым полям подходят головной оросительный канал и каналы-распределители, которые видны на снимке;
3. Орошаемые поля часто определяются по круговой форме (рис. 4).

Предварительно рекомендуется рассмотреть оросительные системы на топографических картах, а затем полученную информацию использовать для анализа космического снимка. Информация на карте поможет точно определить оросительные системы, которые функционировали в советское время, и выяснить по космическому снимку, что стало с ними в настоящий момент.

На рисунке 5 представлены оросительные системы, расположенные вдоль Волго-Донского канала. Сравнивая изображения на топографической карте (1984) и космическом снимке (2016), можно отметить, что в настоящее время не все системы функционируют, а также изменилась конфигурация некоторых массивов орошения за счет возделывания

дополнительных площадей.

Следует иметь ввиду, что зачастую орошаемые массивы используются как богарные земли, поэтому относить их к орошаемым не совсем верно (согласно кадастровому учету, они являются орошаемыми, а по факту используются как богара). Определить по космическому снимку и во время полевых рекогносцировочных маршрутов, являются ли земли на данный момент богарными или используются как влагозарядковые, можно только у хозяев наделов.



Рис. 4. Оросительные каналы на космических снимках: А – головной оросительный канал; Б – круговое орошение и временные оросители, отмеченные на космических снимках с портала Yandex.ru и Pliedas (18.04.2019) на территории орошаемых земель Волгоградской области. **Fig. 4.** Irrigation canals on satellite imagery: А – mail canal, Б – pivot irrigation and temporary sprinklers on the satellite images taken from Yandex.ru and Pliedas (18/04/2019) in the irrigated lands of the Volgograd Region.

Выделение возделываемых и залежных земель. Предварительный визуальный анализ RGB-изображения космического снимка позволяет установить, что оросительная система является частично или полностью заброшенной и стала многолетней залежью. Многолетняя залежь отличается от возделываемых полей в активный вегетационный период отсутствием сельскохозяйственной культуры, а также размытым рисунком изображения. Иногда на снимке видно, что подводящие каналы лишены воды или вовсе засыпаны.

Чтобы разделить орошаемые и неорошаемые поля на мультиспектральных космических снимках опытным путем, мы подбираем и используем сочетание разных каналов (рис. 6, 7).

При выделении многолетней залежи на изображении космического снимка со спутника Landsat-8 (04.04.2020) по сочетанию каналов 7, 5, 4 (коротковолновый инфракрасный, ближний инфракрасный, красный) более молодая залежь (до 5 лет) выделяется насыщенным розовым цветом, а более зрелая – бледно-розовым (рис. 6).

Орошаемые массивы хорошо отображаются на изображении космического снимка со спутника Sentinel-2 (27.07.2020) в сочетании каналов 2, 3, 4 (зеленый, красный, ближний инфракрасный) ярким фиолетовым цветом (рис. 7).

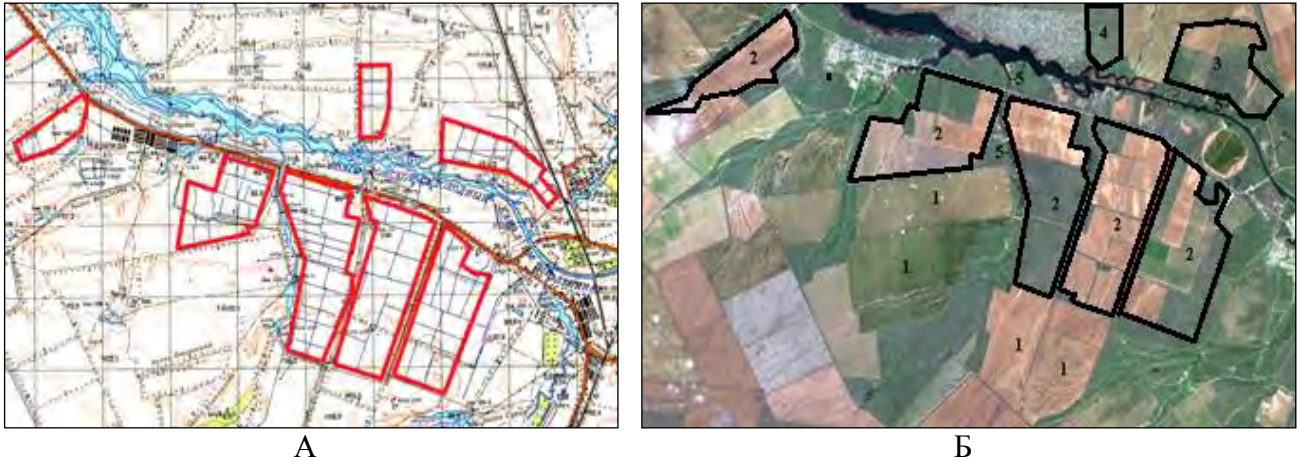


Рис. 5. Оросительные системы вдоль Волго-Донского канала: А – выделенные на топографической карте (М 1: 100000, 1984 г.) и Б – на космическом снимке (RGB; изображение со спутника Landsat OLI-8 (01.05.2016.)). Условные обозначения. Б: 1 – богарные земли, 2 – орошаемые массивы; 3 – орошаемые массивы с увеличенной площадью, 4 – заброшенный орошаемый массив (Горохова и др., 2020), 5 – оросительный канал.
Fig. 5. Irrigation systems along the Volga-Don Canal. Legend: А – on a topographic map of 1984 (scale 1: 100,000); Б – on a satellite image (RGB; obtained from the Landsat OLI-8 Satellite on 01/05/2016; 1 – lands for dry farming, 2 – irrigated lands, 3 – irrigated areas with an increased area, 4 – abandoned irrigated lands (Gorokhova et al., 2020), 5 – irrigation channel.

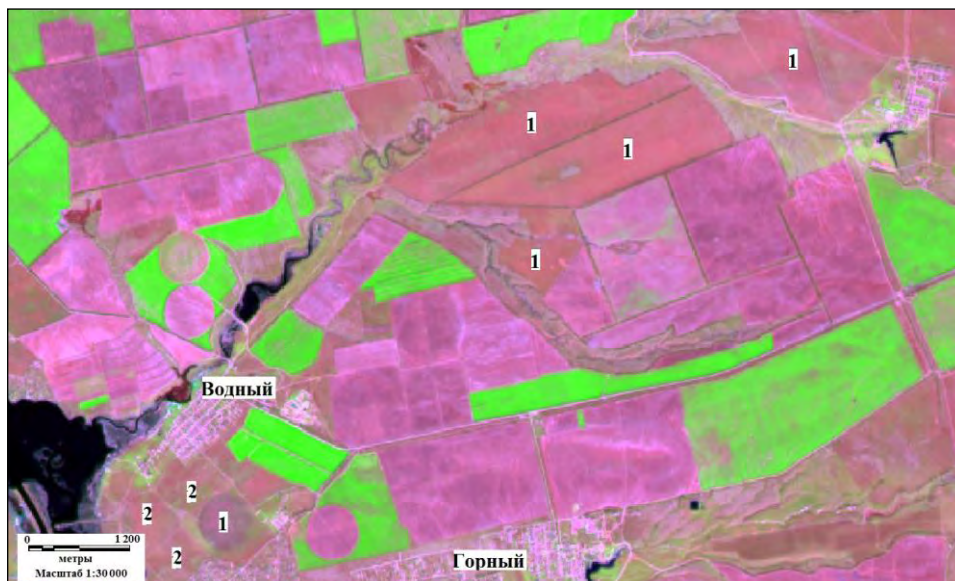


Рис. 6. Выделение многолетней залежи на изображении космического снимка со спутника Landsat-8 (04.04.2020) центральной части Волго-Донской ОС в сочетании каналов 7, 5, 4 (коротковолновый инфракрасный, ближний инфракрасный, красный; Горохова и др., 2021). Условные обозначения: 1 – залежь возрастом до 5 лет; 2 – залежь возрастом более 5 лет.
Fig. 6. Long-term fallow lands on a satellite imagery obtained from the Landsat-8 (04/04/2020) for the central part of the Volga-Don irrigation system in the channels 7, 5 and 4 (short-wave, infrared, near infrared and red; Gorokhova et al., 2021). Legend: 1 – fallows up to 5 years old, 2 – fallows over 5 years old.



Рис. 7. Выделение орошаемых массивов на изображении космического снимка со спутника Sentinel-2 (27.07.2020) в сочетании каналов 2, 3, 4 (зеленый, красный, ближний инфракрасный; Горохова и др., 2021). *Условные обозначения:* 1 – орошаемые массивы.
Fig. 7. Irrigated areas (1) on a Sentinel-2 image obtained on 27/07/2020, channels 2, 3 and 4 (green, red and near infrared; Gorokhova et al., 2021).

В период съемки орошаемых земель в мае-июне находящиеся в стадии зрелости озимые зерновые культуры на изображении хорошо отличаются от полей с кормовыми травами (рис. 8).



Рис. 8. Визуальное выделение полей с разными сельскохозяйственными культурами и многолетней залежью на космическом снимке (RGB, Landsat OLI-8, 01.05.2016; Горохова и др., 2020). *Условные обозначения:* 1 – озимые зерновые, 2 – кормовые травы, 3 – скошенные кормовые травы, 4 – пашня под паром, 5 – многолетняя залежь.
Fig. 8. Fields with different crops and perennial fallow lands on a RGB satellite image obtained from Landsat OLI-8 on 01/05/2016 (Gorokhova et al., 2020). *Legend:* 1 – winter cereals, 2 – fodder, 3 – mown fodder, 4 – fallow arable land, 5 – perennial fallow.

Результат выделения сельскохозяйственных культур на орошаемых землях в автоматическом режиме при обработке многозонального космического снимка сверхвысокого разрешения Pliedas (0.5 м) представлен на рисунке 9. Необходимо было разделить поля с разными культурами, для чего использовался алгоритм неконтролируемой классификации ISODATA (классификация изображения без обучения). Основным параметр, задаваемый перед обработкой, – число классов (3), которое необходимо было получить в итоге. В результате автоматической обработки снимка были определены поля с вызревшими озимыми культурами, убранные озимые культуры и кормовые травы (рис. 9).

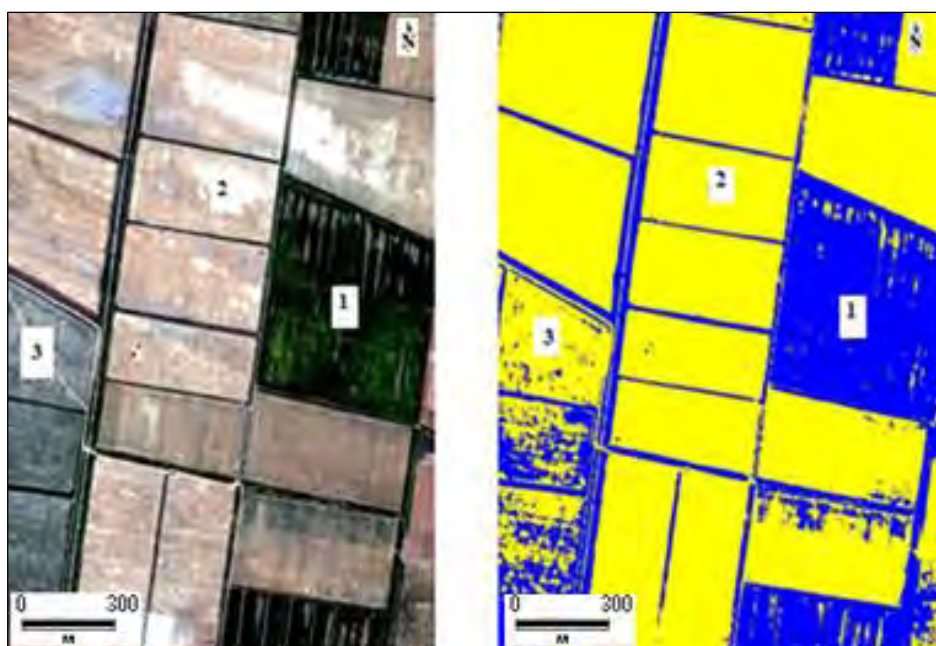
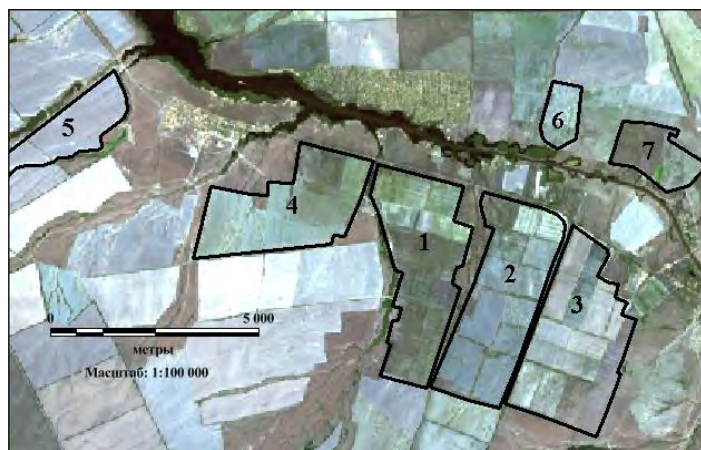


Рис. 9. Фрагмент космического изображения после неконтролируемой классификации (ISODATA) для выделения полей с различными сельскохозяйственными культурами по многозональному космическому снимку Pliedas (20.05.2015) на территории Волгоградской области (Горохова и др., 2018). *Условные обозначения:* 1 – кормовые травы; 2 – вызревшие озимые культуры; 3 – поля с убранными озимыми культурами. **Fig. 9.** Part of a multispectral Pliedas image (20/05/2015) after an unsupervised classification (ISODATA) to identify the fields with different crops in the Volgograd Region (Gorokhova et al., 2018). *Legend:* 1 – fodder field, 2 – ripe winter cereals, 3 – harvested winter cereals.

Выполнив визуально или с помощью специальных программ векторизацию массивов орошения, полей с разными сельскохозяйственными культурами и залежью, можно автоматизировано подсчитать площади всех объектов (рис. 10, 11).

Распознавание почвенных свойств орошаемых земель. Поверхность орошаемых полей часто характеризуется неоднородностью (пятнистостью), которая четко фиксируется на дистанционных материалах. В зависимости от свойств почв изображение полей различаются.

В качестве объектов изучения представлены массивы орошения Светлоярской оросительной системы в Волгоградской области, расположенные в разных природных районах: орошаемый массив Червленое находится на севере возвышенности Ергени, а массивы Светлоярский и Райгородский – в районе Северной Сарпинской низменной равнины Прикаспийской низменности (Доскач, 1979). Рассмотрим природные особенности районов исследования и состояние массивов орошения в прошлом и в настоящее время.

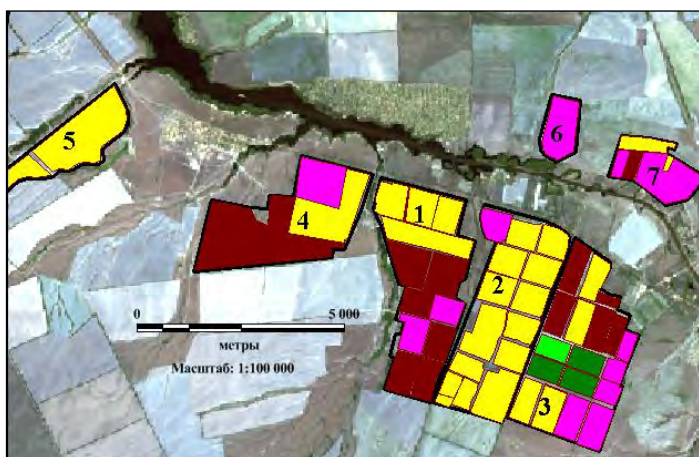


А

Номер_массива	Код	Объект	Площадь_га
1	0	Орошаемый массив	682,00
2	0	Орошаемый массив	749,00
3	0	Орошаемый массив	758,00
4	0	Орошаемый массив	612,00
5	0	Орошаемый массив	300,00
6	0	Орошаемый массив	100,00
7	0	Орошаемый массив	212,00
Всего			3 413,00

Б

Рис. 10. Орошаемые массивы вдоль Волго-Донского канала (А) и их площади (Б) (выделенные и просчитанные по синтезированному RGB-снимку Landsat-8 OLI (19.06.2015)) (Горохова и др., 2020). **Fig. 10.** Irrigated territory along the Volga-Don Canal (A) and its area (B), marked and calculated on a synthesized Landsat-8 OLI RGB-image obtained on 19/06/2015 (Gorokhova et al., 2020). *Legend:* 1-7 – irrigated areas; right column – their area, ha; bottom line – total area, ha.



А

Номер_массива	Код	Объект	Площадь_га
Всего	1	Озимые зерновые	1 708,00
	2	Кормовые травы	38,00
	3	Скошенные кормовые травы	126,00
	4	Пашня под паром	853,00
	5	Залежь	678,00

Б

Рис. 11. Поля с разными сельскохозяйственными культурами и залежью на орошаемых массивах вдоль Волго-Донского канала (А) и их площади (Б) (выделенные и просчитанные по синтезированному RGB-снимку Landsat-8 OLI (19.06.2015); Горохова и др., 2020).

Fig. 11. Fields with different crops and fallow lands in the irrigated territory along the Volga-Don Canal (A) and their area (B), marked and calculated on a synthesized Landsat-8 OLI RGB-image obtained on 19/06/2015 (Gorokhova et al., 2020). *Legend:* 1 – winter cereals, 2 – fodder fields, 3 – harvested fodder fields, 4 – leys, 5 – fallow lands; right column – their area, ha.

Для всей территории Волгоградской области характерно скудное и крайне неравномерное увлажнение почв за счет ливневых осадков; основной источник влаги – талые снеговые воды.

Ергенинская возвышенность в Волгоградскую область заходит своей северной частью.

Отметки поверхности здесь не превышают 150-180 м, преобладают водосборы и склоны речных долин и балок. Грунтовые воды до орошения на водосборах залежали на глубине 18-20 м, в понижениях – до 5 м. Минерализация воды составляла 1-10 г/л, меняясь от хлоридно-натриево-магниевое до сульфатно-кальциевого состава.

Почвенный покров до орошения был представлен комплексом светло-каштановых солонцеватых почв и солонцов (25-50 и > 50%) с невысокой долей участия лугово-каштановых почв. Почвообразующие породы – засоленные карбонатные лёссовидные суглинки и глины. Среди солонцов преобладали солонцы средние и глубокие, засоленные с 20-40 см преимущественно сульфатно-магниевое засоления, часто с участием соды в солонцовом горизонте (Дегтярева, Жулидова, 1970).

Начало освоения всех участков исследования под орошение относится к 60-м годам XX столетия.

В процессе орошения на массиве Червленое в конце 80-х и в начале 90-х годов уровень грунтовых вод (УГВ) доходил до критических значений и составлял 3-2.5 м, а на отдельных участках достигал 1.5-2 м. Это привело к развитию вторичного засоления почв на значительной площади. С середины 1990-х годов массив не орошался, а в 2000-х годах началось постепенное использование отдельных полей под орошение. В настоящее время УГВ залегают глубже 5 м.

Массив Червленое орошался и орошается водами из Волго-Донского канала. Минерализация его вод – гидрокарбонатно-натриевого состава, варьирует в диапазоне 0.72-0.84 г/л. Первоначально орошение проводилось поверхностным способом, но с 2000-х годов и по настоящее время применяется полив дождеванием.

Светлоярский и Райгородский массивы расположены в районе Северной Сарпинской низменной на равнине Прикаспийской низменности. Северная Сарпинская низменная равнина – это морская равнина раннехвалынской трансгрессии. Ее абсолютные высоты колеблются от 40-50 м на севере до 15-30 м в центральной части. В целом, район слабо дренирован. Общий тип ландшафта – суглинистая комплексная равнина, на фоне которой выделяются полосы лиманных и палинных лугов по ложбинам. Почвы преимущественно светло-каштановые солонцеватые в комплексе с солонцами (25-50% и >50%). В депрессиях почвы лугово-степные и луговые, в разной степени опресненные (Доскач, 1979).

Почвообразующие породы равнины – это осадки Хвалынского моря, представленные глинами, суглинками с повышенной концентрацией легкорастворимых солей, подстилаемые сильнозасоленными шоколадными глинами. При более близком залегании шоколадных глин они являются почвообразующими породами (Дегтярева, Жулидова, 1970).

Светлоярский и Райгородский массивы орошались и орошаются водами из р. Волги гидрокарбонатно-кальциевого состава с минерализацией 0.4-0.5 г/л.

На Светлоярском массиве орошение в настоящее время проводится капельным способом и дождеванием, хотя на отдельных полях сохранился поверхностный полив. УГВ на данном участке не поднимался выше 3 м на протяжении всего периода эксплуатации. В настоящее время УГВ более 10 лет составляет >5 м.

На Райгородском массиве УГВ в начале 90-х годов доходил до критических значений и составлял 3-2.5 м, а на юге достигал 1.5-2 м. Это привело к возникновению на некоторых участках вторичного засоления почв в средней и сильной степени в метровой толще. В первую очередь засолялись почвы бывших палин, которые при близком залегании грунтовых вод подверглись процессу вторичного засоления. С середины 1990-х годов и по настоящее время массив не орошается и представляет собой многолетнюю залежь.

Все массивы в период строительства оросительной системы прошли жесткую планировку полей.

В ходе многолетних исследований на орошаемом массиве Червленое установлено, что пятнистость, связанная с вторичным засолением почв, проявляется в условиях высокого уровня грунтовых вод (2.5-1.5 м) и сопровождается образованием выпадов кормовых трав в виде светлых пятен различного размера и характеризует засоление почв до глубины 1 м в сильной степени, независимо от размера пятен. Темный тон на снимке с кормовыми травами отражает слабо-среднее засоление почв у полей с крупнопятнистым рисунком (100-500 м²) и незасоленные и слабозасоленные почвы на полях с мелко- и средне-пятнистым рисунком выпадов (<50 м² и 50-100 м² соответственно; рис. 12).

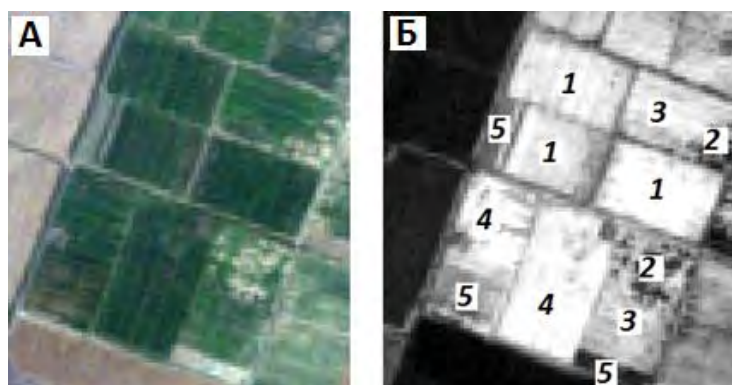


Рис. 12. Участок орошаемого массива Червленое (Светлоярская оросительная система, сухая степь Волгоградской области, возвышенность Ергени). *Условные обозначения:* А – RGB-снимок Landsat-8 OLI (август 1989 г.), Б – классифицированное по NDVI изображение с полями люцерны (уровень грунтовых вод – 2.5-1.5 м, Gorokhova, Pankova, 2021), 1 – незасоленные почвы, кормовая культура без пятен и выпадов (NDVI = 0.74-0.75), 2 – пятна вторично-засоленных почв в сильной степени (до 1 м) и лишённые растительности (NDVI = 0.18-0.27), 3 – слабо-средне засоленные почвы на полях вокруг крупных пятен выпадов культуры (NDVI = 0.59-0.66), 4 – незасоленные и слабозасоленные почвы на полях вокруг мелких и средних по размеру пятен выпадов культуры (NDVI = 0.65-0.71), 5 – скошенная культура. **Fig. 12.** Part of the “Chervlenoye” irrigated area (Svetloyarsk irrigation system, dry steppe of the Volgograd Region, Yergeni Upland). *Legend:* A – Landsat-8 OLI RGB-image obtained in August 1989, B – image of burclover fields, classified according to NDVI, with the groundwater level equal 2.5-1.5 m (Gorokhova, Pankova, 2021), 1 – nonsaline soils, fodder crop without any patches (NDVI = 0.74-0.75), 2 – bare patches of secondary heavily saline soils up to 1 m (NDVI = 0.18-0.27), 3 – weakly and averagely saline soils in the fields around large patches of absent crops (NDVI = 0.59-0.66), 4 – nonsaline and weakly saline soils in the fields around small and average patches of absent crops (NDVI = 0.65-0.71), 5 – harvested crops.

Также на орошаемых массивах Червленое и Светлоярский было определено, что светлая пятнистость, отражающаяся на снимках, может быть связана с карбонатностью пахотного горизонта почв. Выявлено, что в районе исследований встречаются два варианта формирования карбонатного профиля. Первый вариант окарбонирования – это срезка гумусового горизонта с последующей насыпкой смеси разных горизонтов во время производства планировки полей при строительстве оросительной системы. Насыпанный материал обычно содержит карбонаты. В некоторых случаях при планировке была срезана большая часть почвенного профиля почв, включая горизонт с белоглазкой. При втором варианте вторичное окарбонирование поверхностных горизонтов происходит за счет восходящего подтягивания почвенных растворов к поверхности в корнеобитаемый слой.

Оба варианта формирования карбонатного с поверхности горизонта почв рассматривались в более ранних работах (Барановская, Азовцев, 1981; Зимовец, 1991; Любимова, Дегтярева, 2000; Сиземская, 2013).

Срезка повышенных участков почв помимо выравнивания поверхности приводила к удалению солонцовых горизонтов у корковых и мелких солонцов, которые занимали, как правило, повышенные формы микро- и мезорельефа. В результате солонцы на орошаемых полях практически не встречаются, иногда встречаются фрагменты солонцовых горизонтов.

Установлено, что пятнистость поверхностно-карбонатных почв стабильна, не зависит от уровня грунтовых вод и хорошо просматривается в полевых условиях и на космических снимках любого периода съемки и может параллельно встречаться с пятнами вторично-засоленных почв. Она отображается на открытой поверхности почвы, на полях с озимыми зерновыми культурами и достигает размеров 10-20 тыс. м². На полях с люцерной (полив по бороздам) поверхностно-окарбончатые почвы вызывают выпадения культуры площадью до 2-3 тыс. м². Согласно руководству (Soil Survey investigations ..., 1979), орошаемые почвы с повышенным содержанием карбонатов (>2-4%) способствуют образованию корки при высыхании. Корка влияет на агрофизические и агрохимические свойства почвы и препятствует появлению всходов культуры, поэтому важно знать содержание карбонатов в пахотном горизонте.

Чтобы отличить пятнистость, связанную с поверхностной карбонатностью почв, от пятен вторично-засоленных почв, необходимо проанализировать снимки с открытой поверхностью полей ранневесеннего периода, на которых карбонатные пятна хорошо идентифицируются в отличие от пятен засоления почв, которые не видны на открытой поверхности (кроме солончаков) и могут менять свои границы под кормовыми травами от сезона к сезону из-за динамичности процесса засоления.

Обнаружив, что изображение поверхностно-карбонатных почв на космических снимках имеет вид светлых пятен, встала задача определить, в какой мере пятнистость связана с количеством CaCO₃ в верхних горизонтах почвы, подтвердив ее полевыми исследованиями. Было определено, что содержание карбонатов в слое 0-25 см связано с изображением пятнистости на космическом снимке следующим образом: на крупных светлых пятнах (>1 тыс. м²) количество CaCO₃ в среднем по всем орошаемым участкам достигает >6% и 4-6% на мелких пятнах (от 100 м²), а в пределах остального фона – 0-4%. С глубиной содержание карбонатов может как снижаться, так и увеличиваться (рис. 13).

Оценка остаточного засоления по пятнам на полях проводилась на Райгородском орошаемом массиве. Райгородский массив в 90-х годах находился в сложных гидрогеологических условиях: на юге ключевого участка УГВ (воды сульфатно-натриевого состава) составлял 1.5-2 м, в результате чего образовались очаги вторично засоленных почв в сильной и средней степени. Это почвы бывших педин, которые при близком залегании грунтовых вод из-за более тесной связи с ними быстро подвергаются процессу вторичного засоления.

На современных снимках за счет сорного разнотравья очаги бывшего вторичного засоления почв выглядят как крупные темные пятна на многолетней залежи размером до 3500 м² (рис. 14). В настоящий период, когда УГВ находится глубже 5 м, происходит процесс постепенного рассоления почв по окраине пятна с сохранением засоленности почв в центре.

Засоление почв на глубине 50-100 см и глубже не всегда отражается на космических снимках. В этом случае для картографирования засоления почв необходимо использовать метод интерполяции (Kriging), поскольку почвы, засоленные на глубине более 100 см, остаются потенциально опасными и информация о количестве и распределении солей в них является важной. Приведем пример, когда на ОУ Червленое в программе Surfer-13 были

построены интерполяционные карты распределения средневзвешенной суммы токсичных солей (%) в слое 100-200 см (рис. 15). Для этого были использованы данные, предоставленные Волгоградской гидрогеолого-мелиоративной партией (2017-2018 гг.) и наши собственные полевые исследования за 2017 г.

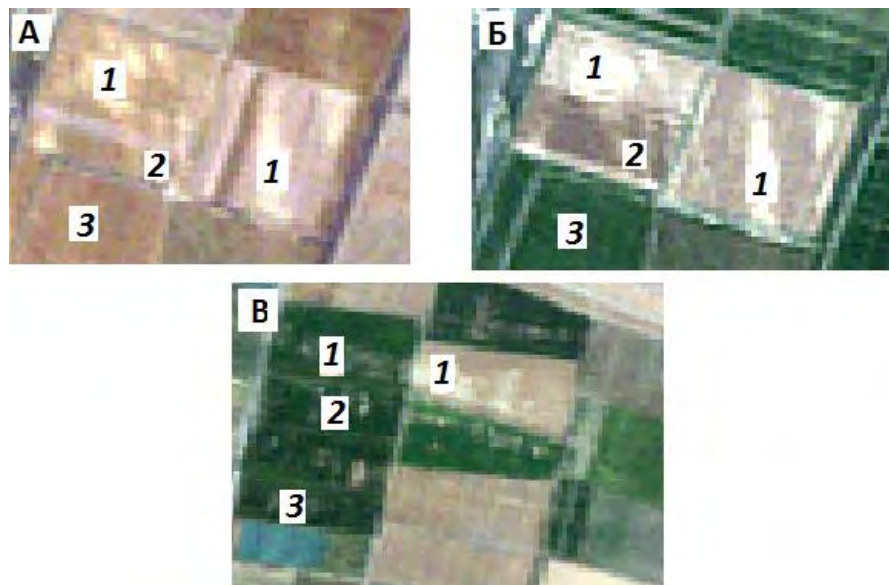


Рис. 13. Фрагменты RGB-снимков Landsat-8 OLI, отражающие поверхностно-окарбоначенные (0-25 см) почвы разных природных районов Светлоярской оросительной системы (сухая степь, Волгоградская область). *Условные обозначения:* А, Б – участок орошаемого массива Червленое, возвышенность Ергени (апрель 2018 г. – открытая поверхность почв, май 1989 г. – поля с озимыми зерновыми), В – участок орошаемого массива, Прикаспийская низменность (август 2018 г. – поля с озимыми зерновыми культурами и люцерной; Gorokhova, Pankova, 2021), 1 – крупные пятна с содержанием $\text{CaCO}_3 > 6\%$, 2 – мелкие пятна с содержанием $\text{CaCO}_3 = 4-6\%$, 3 – поле без пятен с содержанием $\text{CaCO}_3 = 0-4\%$. **Fig. 13.** Parts of the Landsat-8 OLI RGB-images with soils calcimorphic on the surface (0-25 cm) in different natural regions of Svetloyarsk irrigation system (dry steppe of the Volgograd Region). *Legend:* A, B – part of the “Chervlenoye” irrigated territory in the Yergeni Upland (April 2018 – open soil surface, May 1989 – fields with winter cereals), C – part of the irrigated territory in the Caspian Lowland (August 2018 – fields with winter cereals and burclover; Gorokhova, Pankova, 2021), 1 – large patches with $\text{CaCO}_3 > 6\%$, 2 – small patches with $\text{CaCO}_3 = 4-6\%$, 3 – field without any patches, $\text{CaCO}_3 = 0-4\%$.

На глубине 100-200 см на обоих массивах почвы имеют горизонты преимущественно средней и сильной степени засоления. Только в почвах на юго-востоке западного массива во втором метре засоление слабое или даже отсутствует. Иными словами, на большей части участка во втором метре почвенного профиля присутствует существенное количество легкорастворимых солей, которые в случае подъема УГВ могут переместиться выше по профилю.

По данным водной вытяжки 1:5, химизм засоления почв на орошаемых массивах преимущественно хлоридно-сульфатный, иногда сульфатный и сульфатно-хлоридный.

Таким образом, проведенные исследования на орошаемых участках Светлоярской оросительной системы, расположенные в разных природных районах сухостепной зоны Волгоградской области, в 90-х годах прошлого века и в настоящее время показали, что

неоднородность полей, отраженная на космических снимках, может носить диагностический характер, но имеет разные причины происхождения. Причина возникновения пятнистости связана с гидрогеологическими условиями и свойствами почв, планировкой полей во время строительства оросительной системы и длительным периодом орошения, а рисунок пятнистости зависит от того, возделывается ли на поле культура, является ли поле открытой поверхностью или залежью, поэтому интерпретация дистанционных материалов требует обязательного изучения современной обстановки района исследований и обоснования причин появления пятнистости на основе полевых и лабораторных исследований.



Рис. 14. Райгородский орошаемый участок. Многолетняя залежь на космическом снимке Landsat-8 (19.06.2015), УГВ > 5 м (А). Очаги бывшего вторичного засоления почв (Б) выглядят как крупные темные пятна (за счет проседания поверхности из-за отсутствия повторных планировок и бурного развития сорного разнотравья вследствие скопления атмосферных осадков). В настоящий период здесь происходит процесс постепенного рассоления почв по окраине пятна с сохранением засоленности почв в центре пятна в слабосредней степени (Горохова, Панкова, 2017). **Fig. 14.** Raygorod irrigated territory with a perennial fallow land (A) on a Landsat-8 image obtained on 19/06/2015 (groundwater level >5 m), and foci of the former secondary soil salinization (B) that look like large dark spots due to the sagging surface caused by the lack of secondary planning and by the intense growth of weeds after a precipitation accumulation. Currently, the soils in this undergo a gradual desalination on the edge of the patch, while remaining weakly and averagely saline in its center (Gorokhova, Pankova, 2017).

1.4. Полевые исследования

Цель работ полевых исследований – изучение современного состояния почвенного покрова, подтверждение связи между изображением на снимке и почвами на местности, а также снятие вопросов, возникших при составлении предварительной карты по космическим снимкам.

На основе предварительной карты проводятся полевые работы по плану, намеченному в предполевой период. Рекогносцировочные маршрутные исследования сопровождаются заложением опорных разрезов для оценки свойства почв в пределах различных ландшафтов.

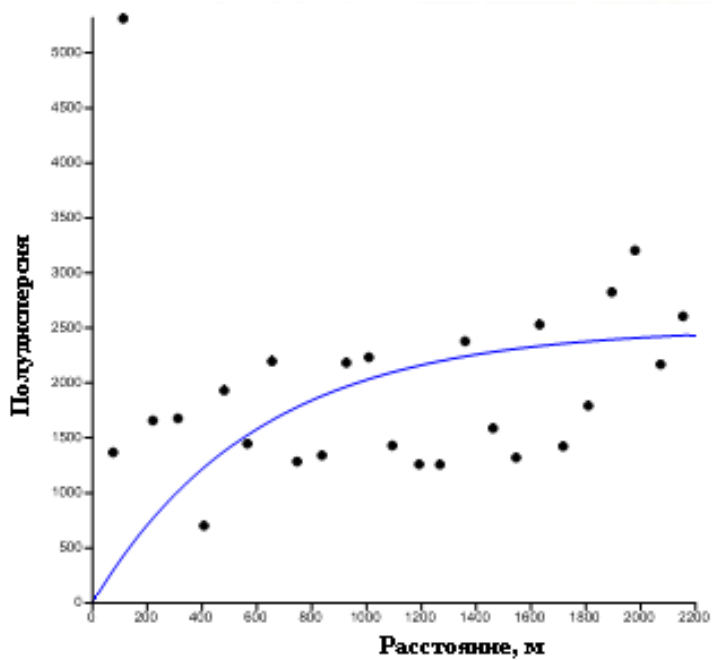
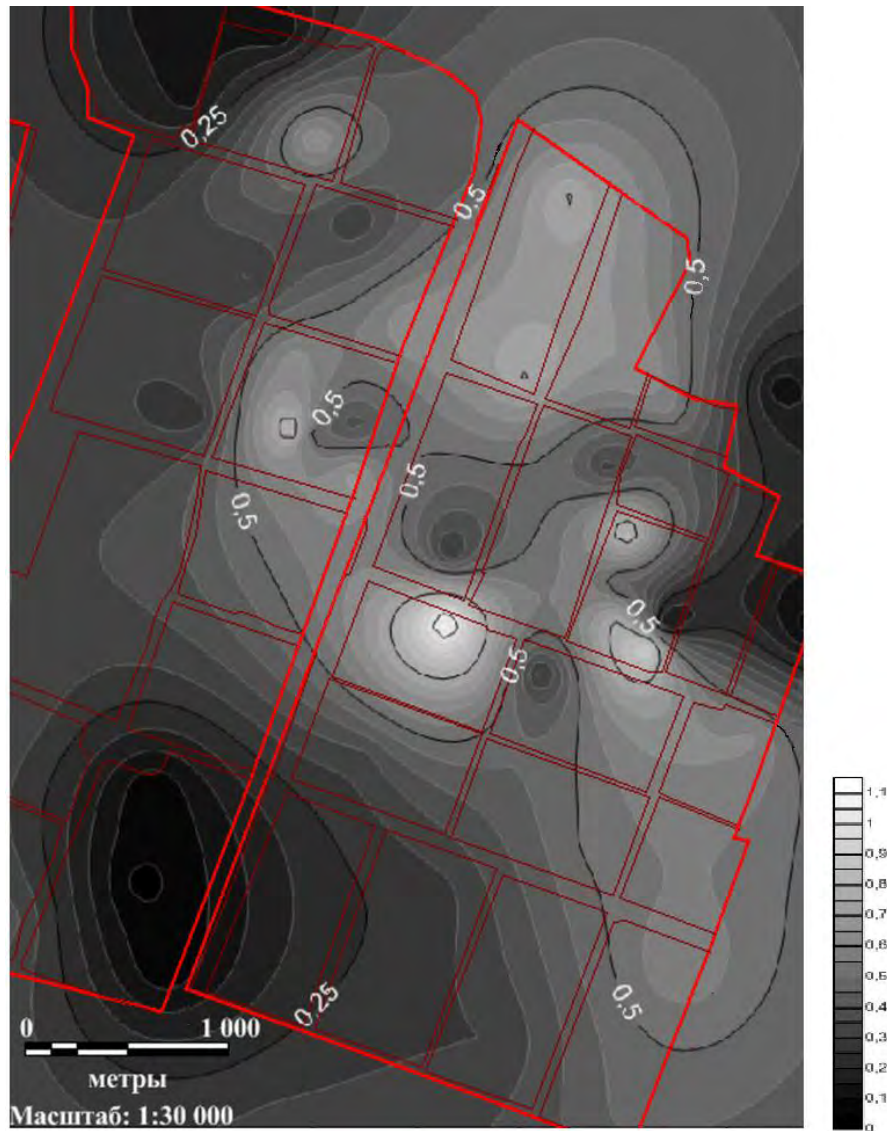


Рис. 15. Вариограмма и карта пространственного распределения содержания средневзвешенной суммы токсичных солей ($S_{\text{токс}}$, %) в слое 100-200 см (Горохова и др., 2020). **Fig. 15.** Variogram and map of the spatial distribution for the concentration of the weighted mean sum of toxic salts (S_{tox} , %) in a layer of 100-200 cm depth (Gorokhova et al., 2020).

В ходе маршрутных исследований определяются также места проведения более детальных ключевых и профильных исследований, цель которых – подтвердить тесноту связи между изображением на снимке и почвами, уточнить информацию, полученную в результате предварительного дешифрирования снимка. Профили и точки опробования необходимо привязывать при помощи спутниковых навигаторов. В пределах картографируемой территории количество почвенных разрезов должно примерно соответствовать утвержденным ранее нормативам: 1-1.5 разреза на 1 км² почвенной съемки в масштабе 1:50000, 2-3 разреза в масштабе 1:25000, 6-7 разрезов в масштабе 1:10000 (табл. 3).

Таблица 3. Количество основных почвенных выработок, закладываемых при почвенной съемке (Инструкция по почвенным изысканиям ..., 1975). **Table 3.** Number of main soil profiles for the soil survey (Instructions on soil surveys ..., 1975).

Масштаб	Категория сложности почвенного покрова*			1 разрез на площадь, га	1 разрез на площадь, га**
	1	2	3		
	Количество почвенных выработок на 1 км**				
1:200000	0.08	0.11	0.15	1250-670	–
1:100000	0.2	0.25	0.33	500-300	200
1:50000	0.75	0.90	1.20	134-83	50
1:25000	1.5	2.0	2.5	66-40	12.5
1:10000	3.0	5.6	6.7	33-14	2
1:5000	8.0	12.0	15.0	12-7	0.5
1:2000	20.0	25.0	35.0	5-3	–

Примечания к таблице 3: * – категория сложности определяется процентом участия неоднородных компонентов в почвенных контурах (1 категория – 15%, 2 категория – 15-30%, 3 категория – более 30%), ** – количество шурфов дано согласно руководству ФАО (Soil Survey Investigations for Irrigation FAO UN, 1979). **Notes to Table 3:** * – complexity is defined by the participation percentage of heterogeneous components in the soil (category 1 – 15%, category 2 – 15-30%, category 3 – more than 30%), ** – the number of profiles is given according to “Soil Survey Investigation for Irrigation” (1979).

Исследования предусматривают заложение трансект – почвенно-геоморфологических профилей, охватывающих все позиции ландшафта. По этим материалам на предварительных картах уточняют список почв, почвенных комплексов, почвообразующих и подстилающих пород.

Ключевые исследования проводят с целью типизации почвенных неоднородностей и выявления ландшафтно-индикационных связей. Необходимо охватывать ключевыми исследованиями основные типы фотоизображения на космическом снимке. Выбор мест заложения ключевых участков проводится также с учетом сельскохозяйственного использования территории. Это позволит проанализировать связь почвенной неоднородности с пестротой урожая (Сорокина, 2006).

Во время полевых работ применяют следующие точки опробования: основные разрезы, прикопки и буровые скважины.

Основные разрезы закладываются на наиболее типичных позициях рельефа для изучения полного профиля почвы. Они должны вскрывать все генетические горизонты почв и верхнюю часть почвообразующей породы. Глубина разрезов составляет 1.5-2.5 м.

Прикопки закладывают для уточнения границ распространения почвенных разностей и выяснения изменчивости их свойств (мощности гумусового горизонта, глубины залегания солевого, солонцового, карбонатного, гипсового горизонтов). Прикопки используют также для выявления долевого участия компонентов почвенного покрова в пределах неоднородного контура и для дешифрирования фотоизображения – по соответствию прикопок разным тональным пятнам на космоснимке. Глубина прикопок на различных почвах колеблется в пределах 0.4-0.75 м.

Буровые скважины имеют то же значение, что и прикопки. Их используют также для характеристики почвообразующих и подстилающих пород, установления глубины залегания грунтовых вод.

В ходе полевых работ проводится сбор образцов для почвенной характеристики и отдельно для характеристики засоленности почв. Для оценки засоленности почв образцы отбираются из каждого почвенного разреза по генетическим горизонтам до глубины 1-2 м. Ниже отбираются смешанные образцы по слоям 50 см. В том случае, если отмечается литологическая неоднородность почвообразующих и подстилающих пород, это необходимо учитывать при отборе образцов, не допуская смешивания разных слоев породы.

Для более полной аналитической характеристики почвенных свойств из типичных разрезов (~10-15% от общего количества разрезов) отбираются образцы для определения содержания гумуса, карбонатов, гипса, обменных катионов. Анализ гранулометрического состава проводится выборочно, с учетом его изменчивости по профилю и в пределах картируемой территории. В опорных разрезах отбираются на анализ образцы грунтовой воды.

Полевой этап исследования завершается составлением: 1) карты фактического материала, отражающей весь объем выполненных в поле исследований; 2) полевой почвенной карты; 3) заявкой на выполнение аналитических работ.

Полный химический анализ содержания и состава солей делается для части разрезов, заложенных при картографировании (около 20%). В остальных образцах засоленность можно оценить по сокращенной водной вытяжке (содержание Na для почв преимущественно сульфатного засоления и Cl для почв преимущественно хлоридного засоления; Засоленные почвы России, 2006).

1.5. Обработка результатов полевых и камеральных исследований, окончательное составление карт

После завершения полевых работ и получения результатов химических анализов начинается этап по созданию серии векторных карт-слоев, отражающих всю собранную информацию – об использовании земель, о почвенном покрове и свойствах почв на момент исследования. Проводится окончательное формирование легенды к каждому слою карты и подсчет площадей. Заканчивается работа составлением почвенного отчета. Таким образом, на заключительном этапе делается корректировка карты с учетом полевых обследований, лабораторных анализов и на базе завершающей обработки снимка.

В завершающей стадии обработки многозонального космического снимка проводится его автоматизированная классификация, которая предполагает программное распознавание объектов, с использованием обучающих выборок. Это контролируемая классификация (Supervised Classification) или классификация с обучением.

Существует несколько способов контролируемой классификации, но независимо от того, какой способ выбран, контролируемая автоматическая классификация проходит следующие этапы обработки:

– первый этап заключается в определении, какие классы объектов будут выделены в

результате выполнения процедуры (определяется пользователем);

- на втором этапе для каждого из классов объектов формируется обучающая выборка (создается пользователем);

- третий этап – вычисление параметров «спектрального образа» каждого из классов, сформированного в результате набора эталонных пикселей из обучающих выборок;

- четвертый этап – просмотр всего изображения и отнесение каждого пикселя к тому или иному классу.

Контролируемая классификация выполняется только при наличии для каждого выделяемого класса эталонных выборок, основанных на полевых наблюдениях.

Методов классификации достаточно много, но широко распространены три метода классификации с обучением:

1. Классификация по минимальному расстоянию (Minimum Distance). Смысл метода заключается в отнесении пикселя к тому эталонному классу, евклидово расстояние до центра которого в пространстве признаков минимально. Этот способ целесообразно использовать при ограниченном числе классов.

2. Метод параллелепипедов (BoxClassifier) основан на статистическом подходе. Он заключается в отнесении пикселей изображения к эталонным классам, в качестве характеристик которых задаются некоторые интервалы значений яркости. Они выбираются в результате анализа гистограммы распределения яркости на изображении. Метод дает хорошие результаты, если спектральные характеристики объектов не пересекаются в пространстве признаков.

3. Метод максимального правдоподобия (Maximum Likelihood) также основан на статистическом подходе. Смысл его сводится к определению вероятности попадания пикселя в тот или иной класс. Этот метод обычно применяют в случаях, когда спектральные характеристики классов объектов мало различаются, как это часто бывает при распознавании почв и растительных сообществ.

Существует также способ расстояния Махаланобиса (Mahalanobis distance), где используется статистика для каждого класса, способы минимального расстояния, спектрального угла, двоичного кодирования, нейросетевая классификация, дерево принятия решений, объектно-ориентированная классификация (Чандра, Гош, 2008; Шовенберг, 2013; Руководство пользователя ENVI ..., 2014)

Невозможно объявить, что один классификатор лучше, чем другой. Их результативность в значительной степени зависит от исходных данных (изображения).

Формирование обучающей выборки для обработки снимка имеет особое значение, поскольку от ее качества в решающей степени зависит точность классификации. Качество обучающей выборки оценивается следующими категориями:

- репрезентативность или представительность совокупности значений яркости в выборке; определяется по точности отнесения к заданному классу;

- однородность: отсутствие нехарактерных для класса значений яркости; оценивается по величине стандартного отклонения значений яркости от среднего;

- различимость: достаточное различие спектральных яркостей классов, минимальное перекрытие диапазонов классов (применяют такие параметры, как мера разделимости Джеффриса-Матусита и др.; Книжников, 2011; Шовенберг, 2013).

Чтобы точность классификации снимка была удовлетворительной, обработку (классификацию) лучше проводить для разных категорий земель отдельно. Территории, не подлежащие анализу (поселки, дороги и др.), предварительно исключают из обработки снимка с помощью их маскирования.

В основу обучающих выборок могут быть положены яркостные характеристики

(значения спектральной яркости, NDVI), их статистические параметры и модели, применяемые в разных каналах (Rouse et al., 1973; BEGA-PRO, 2022).

Созданная с использованием классификации снимка карта орошаемых почв должна отражать структуру почвенного покрова и позволить автоматически рассчитать площади орошаемых почв и долю участия каждого компонента почвенного покрова на поле.

Результатом проведенных работ становится итоговая ГИС изучаемого района, которая включает следующую картографическую, атрибутивную и текстовую информацию:

1. Картографическая информация:

- 1.1. Снимки высокого и сверхвысокого разрешения на период исследования;
- 1.2. Снимки разных лет до периода исследования (по возможности);
- 1.3. Карта фактического материала;
- 1.4. Карта землепользования;
- 1.5. Почвенная карта.

2. Атрибутивная информация:

- 2.1. Описания разрезов (к карте фактического материала);
- 2.2. Данные химических анализов (к карте фактического материала);

3. Текстовая информация (объяснительная записка к картам):

- 3.1. Физико-географические условия района исследования;
- 3.2. Характеристика имеющихся картографических материалов и снимков;
- 3.3. Описание метода и результатов классификации изображения на снимке;
- 3.4. Описание, характеризующее глубину грунтовых вод и их минерализацию, степень засоления и состав солей; верхнюю границу гипсового и карбонатного горизонтов и содержание гипса и карбонатов (в %) по слоям в разных типах почв, глубину, степень засоления и химизм засоления почв исследуемой территории.

В качестве примера приведем дешифрирование мультиспектрального космического снимка сверхвысокого разрешения Pleiades (20.05.2015) на территорию Светлоярского ОУ, где мы использовали обучающие выборки, основанные на полевых исследованиях. Выборки охватывали участки полей люцерны с выпадями и в хорошем состоянии, полей с озимой пшеницей на пятнах и в понижениях, обязательно на точках опробования.

Качество созданных обучающих выборок определяли согласно следующим критериям (Книжников и др., 2011): 1) репрезентативности – представительности совокупности значений яркости в выборке, для этого каждый класс представлялся несколькими (3-5) эталонными участками, 2) однородности – отсутствию нехарактерных для класса значений яркости, которые оцениваются по величине стандартного отклонения значений яркости от среднего, чтобы придерживаться этого принципа, каждый тип почв, имеющий разную яркость на полях из-за уборки культуры или зарастания сорняками, был представлен несколькими выборками, которые уже на постклассификационном этапе обработки снимка объединяли в один класс, значения стандартного отклонения (%) от средней яркости, рассчитанные по всем классам в четырех каналах, варьирует от 2.7 до 16.0%, что вполне допустимо, 3) различимости – достаточному различию спектральных яркостей классов, для этого использовали два параметра: меру разделения Джеффриса-Матусита и преобразованную дивергенцию (Transformed Divergence), значения которых не должны превышать 1.7 и должны стремиться к 2, в наших выборках оба параметра варьировали в пределах 1.76-2.0.

Для классификации снимка использовали автоматический классификатор спектрального угла (Spectral Angle Mapper), в котором все пиксели снимка, в том числе и обучающих выборок, рассматриваются как векторы в пространстве спектральных признаков. Для каждого класса задается максимально допустимый спектральный угол, то есть угол

между эталонным вектором и вектором пиксела, который подвергается классификации. В случае если спектральный угол меньше максимального, то пиксел относится к данному классу, если больше – не относится. Способ спектрального угла дает хорошие результаты, когда нужно провести классификацию для объектов, имеющих схожие значения яркости во всех спектральных диапазонах (Шовенгердт, 2013).

После классификации и генерализации изображения была проведена векторизация контуров. Результаты классификации, векторизации и составления карты представлены на рисунке 16.

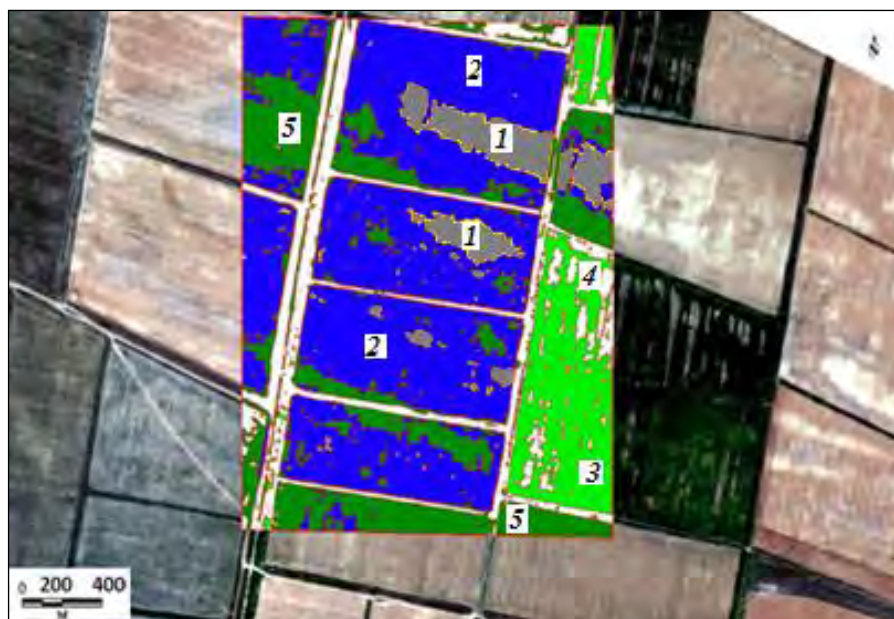


Рис. 16. Фрагмент почвенной карты для Светлоярского орошаемого участка (прямоугольник в центре) на фоне космического снимка сверхвысокого разрешения Pliedas (20.05.2015; Горохова и др., 2018). *Условные обозначения:* 1 – почвы светлокаштановые карбонатные (вскипающие с поверхности) глубокосолончаковатые под озимыми зерновыми; 2 – светлокаштановые карбонатные (вскипающие с глубины 15-20 см) глубоко-солончаковатые под озимыми зерновыми культурами; 3 – светлокаштановые карбонатные (вскипающие с глубины 15-20 см) глубокосолончаковатые под люцерной; 4 – светлокаштановые карбонатные (вскипающие с поверхности) под выпадами люцерны; 5 – лугово-каштановые (темноцветные) почвы педин и потяжин. **Fig. 16.** Fragment of a soil map for the Svetloyarsk irrigated area (inner rectangle) with the background of an ultra-high resolution Pliedas image obtained on 20/05/2015 (Gorokhova et al., 2018). *Legend:* 1 – light chestnut calcareous (surface effervescence) deeply alkaline soils under winter cereals, 2 – light chestnut calcareous (effervescence starts at 15-20 cm) deeply alkaline soils under winter cereals, 3 – light chestnut calcareous (effervescence starts at 15-20 cm) deeply alkaline soils under burclover, 4 – light chestnut calcareous (surface effervescence) under scarce burclover, 5 – meadow-chestnut (black earth) soils of gorges and round depressions.

1.6. Проверка и оценка точности карты

Проверка и оценка точности карты может производиться:

а) путем сравнения с картами аналогичного или более крупного масштаба, составленными по данным полевых наблюдений.

б) путем оценки точности проведенной классификации снимка.

Достоверность классификации вначале оценивают визуально, выявляют грубые промахи и несоответствия. Затем переходят к количественной оценке, сравнивая результаты классификации с тестовыми участками, в качестве которых могут использоваться результаты наземных наблюдений, карты и снимки крупного масштаба. Если результаты классификации не удовлетворяют исполнителя, он уточняет обучающую выборку (например, путем деления крупных классов на более мелкие), и затем повторяет процесс.

Далее проводят оценку точности проведенной классификации. Такой анализ можно провести посредством матрицы несоответствия, с расчетами общей точности (OverallAccuracy), коэффициента Каппа (KappaCoefficient), ошибок пропуска (Omission) и ложного определения (Commission), точности пользователя (Useraccuracy) и производителя (Produceraccuracy).

Матрица несоответствия представляет собой квадратную матрицу с количеством строк и столбцов равным количеству классов. В диагональных элементах матрицы – значения равные количеству верно классифицированных пикселей в каждом классе. Сумма значений диагональных элементов показывает общее количество правильно классифицированных пикселей, а отношение этого количества к общему количеству пикселей в матрице и называется общей точностью классификации.

Для оценки общей достоверности классификации также используют коэффициент Каппа, вычисляемый по формуле:

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^n x_{ij} - \sum_{i=1}^y x_{i+} \cdot x_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r x_{i+} \cdot x_{+i}}$$

где x_{ij} – диагональные элементы матрицы ошибок; x_{i+} – суммарное количество пикселей по строке i ; x_{+i} – суммарное количество пикселей по столбцу; N – общее количество пикселей в матрице; n – количество классов.

Если индекс Каппа составляет ≤ 0.5 , то результат общей классификации считается неудовлетворительным.

Ошибка пропуска – количество пикселей, ошибочно не попавших в данный класс. Ошибка ложного определения (комиссии) – количество пикселей, ошибочно присоединенных к данному классу.

Точность производителя – процент пикселей того или иного класса, которые были верно классифицированы. Данный показатель рассчитывается делением каждого диагонального элемента матрицы несоответствий на общее количество пикселей в соответствующем столбце. С помощью данного параметра можно оценить насколько хорошо результат классификации для того или иного класса совпадает с проверочными данными.

Схожий показатель рассчитывается для реального класса, делением количества верно классифицированных пикселей класса на общее количество пикселей в этом классе согласно проверяемым данным (общее число пикселей в соответствующих строках матрицы). Этот показатель называют точностью пользователя. Он показывает вероятность того, что пиксели класса (проверяемого изображения) попадут в соответствующий класс (проверочного изображения).

Для осуществления такого анализа необходимо, чтобы наземная информация, карты (или обучающие выборки), составленные в процессе полевых исследований, были представлены в виде классифицированного изображения. Затем проводят сравнение всего классифицированного изображения с классифицированным изображением выборок. (Руководство пользователя ENVI ..., 2014).

Перевод данных наземного наблюдения в классифицированное изображение и расчет параметров матрицы несоответствия можно осуществлять в любой высоком уровне

программе по обработке изображений.

Практический опыт показывает, что достоверности классификации в 90-95% можно добиться для 2-3 классов. Удовлетворительными считаются результаты, если правильно определены 70-85% классифицируемых объектов (Лабутина, Балдина, 2011).

Выводы

1. Орошаемые почвы всегда представляют собой сложный объект картографирования, как традиционными методами, так и методами с привлечением дистанционной информации, что вызвано высокой антропогенной деформацией почвенного покрова и изменением природных факторов почвообразования, вызванных планировкой полей, длительным периодом орошения, гидрогеологическим режимом и др.

2. Сельскохозяйственные культуры в различных гидрогеологических условиях по-разному реагируют на лимитирующие факторы, поэтому при составлении карт необходимо придерживаться следующих этапов картографирования: 1) создать карту землепользования для выделения полей с разными культурами и залежью; 2) выявить наличие пятен с разреженностью или отсутствием сельскохозяйственных культур на снимках; 3) в полевых условиях и на базе проведенных анализов отобранных почвенных образцов изучить современный почвенный покров, морфологию и характер отображения почв на снимке, установить причину пятен, выявленных по изображению; 4) используя результаты полевых исследований подобрать алгоритм обработки для классификации снимков, составить легенды к картам; 6) для глубокозасоленных почв построить солевую карту с помощью автоматизированного метода интерполяции точечных данных по материалам полевых исследований.

3. Следует помнить, что полученные дешифровочные признаки современного состояния орошаемых почв и их засоления не могут быть экстраполированы для составления карт других похожих регионов, т.к. природные связи у орошаемых почв существенно нарушены, велико воздействие антропогенных факторов и в каждом конкретном случае должен осуществляться индивидуальный подход к картографированию, основанный на связи изображения почв на снимке и реальным почвенным покровом.

4. Пятнистость орошаемых полей, отраженная на космических снимках, имеет разную природу и поэтому интерпретация дистанционных материалов требует обязательного изучения особенностей района исследований и обоснования причин появления пятнистости на основе полевых работ и лабораторных анализов почвенных образцов.

5. Пятнистость связанная с карбонатностью поверхностного горизонта почв (0-25 см) не зависит от уровня грунтовых вод и лучше всего просматривается на космических снимках с открытой поверхностью почв.

6. Пятнистость связанная с вторичным и остаточным засолением почв определяется по состоянию растительности, поэтому важен период проведения космической съемки, отражающий высокую вегетационную активность растений. Необходимы также сведения об уровне грунтовых вод, поскольку критический уровень грунтовых вод является основной причиной возникновения процесса вторичного засоления почв.

7. Проверка и оценка точности карты может производиться путем визуального сравнения с картами более крупного масштаба, составленными по данным полевых наблюдений и путем оценки точности проведенной классификации снимка. Достоверность классификации определяется посредством матрицы несоответствия (Overall Accuracy), коэффициента Каппа (Kappa Coefficient), ошибок пропуска (Omission) и ложного определения (Commission), точности пользователя (User accuracy) и производителя (Producer accuracy).

Если классификация получилась неудовлетворительной, то необходимо уточнить обучающую выборку и затем повторить процесс.

Финансирование. Работа выполнена по теме государственных заданий № 0439-2022-0009 «Изучить трансформацию, эволюцию и деградацию почвенного покрова агроландшафтов на разных уровнях организации, включая внутритропическую неоднородность с использованием сочетания наземных обследований и цифровых технологий».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1. Алдошин С.С., Горбачева Е.Н., Мышляков С.Г., Скачкова А.С. 2015. Космический мониторинг сельскохозяйственного землепользования Калужской области // *Геопрофи.* № 4. С. 10-14.
1. Aldoshin SS, Gorbacheva EN, Myshlyakov SG, Skachkova AS. Space monitoring of agricultural land use in the Kaluga region [*Kosmicheskii monitoring sel'skokhozyaystvennogo zemlepol'zovaniya Kaluzhskoy oblasti*] *Geoprofi.* 2015;4:10-14.
2. Антипов-Каратаев И.Н. 1953. Мелиорация солонцов в СССР. М.: Изд-во АН СССР. 563 с.
2. Antipov-Karataev IN. Reclamation of solonchaks in the USSR [*Melioratsiya solontsov v SSSR*]. Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1953:563.
3. Аринушкина Е.В. 1970. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ. С. 387-421.
3. Arinushkina EV. Guide to the chemical analysis of soils [*Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv*]. Moscow: Izd-vo MGU, 1970:387-421.
4. Барановская А.В., Азовцев В.И. 1981. Влияние орошения на миграцию карбонатов в почвах Поволжья // *Почвоведение.* № 10. С. 17-26.
4. Baranovskaya AV, Azovtsev VI. Effect of irrigation on the migration of carbonates in the soils of the Volga region [*Vliyaniye orosheniya na migratsiyu karbonatov v pochvakh Povolzh'ya*] *Eurasian Soil Science [Pochvovedeniye]*. 1981;10:17-26.
5. ВЕГА-ПРО. 2022. Спутниковый сервис анализа вегетации [Электронный ресурс <http://pro-vega.ru/> (дата обращения 03.02.2023)].
5. VEGA-PRO. Satellite service for vegetation analysis [*Sputnikovyy servis analiza vegetatsii*]. 2022, Available at <http://pro-vega.ru/> (Date of Access 03/02/2023).
6. Горохова И.Н., Панкова Е.И. 2017. Природа пятнистости орошаемых почв сухостепной зоны (на примере Светлоярской оросительной системы) // *Аридные экосистемы.* Т. 23. № 3 (72). С. 44-54. [*Gorokhova I.N., Pankova E.I.* 2017. The nature of the patchiness of irrigated soils in the dry steppe zone (on example of the Svetloyarskaya irrigation system) // *Arid Ecosystems.* Vol. 7. No. 3. P. 161-170.]
6. Gorokhova IN, Pankova EI. The nature of the patchiness of irrigated soils in the dry steppe zone (on example of the Svetloyarskaya irrigation system). *Arid Ecosystems.* 2017;7 (3):161-170.
7. Горохова И.Н., Панкова Е.И., Харланов В.А. 2019. Изменения мелиоративного состояния орошаемых почв Волгоградской области в XXI веке //
7. Gorokhova IN, Pankova EI, Kharlanov VA. Changes in the ameliorative state of irrigated soils in the Volgograd region in the 21st century [*Izmeneniya meliorativnogo sostoyaniya oroshayemykh pochv Volgogradskoy oblasti v XXI veke*] *Eurasian Soil Science [Pochvovedeniye]*. 2019;3:1-18.
8. Горохова И.Н., Панкова Е.И., Чурсин И.Н. Развитие методологических подходов для оценки статуса орошаемых земель в южной части европейской России
8. Gorokhova IN, Pankova EI, Chursin IN. Development of Methodological Approaches for the Assessment of the Status of Irrigated Lands in the South of the European Part of Russia

- Почвоведение. № 3. С. 1-18.
8. Горохова И.Н., Панкова Е.И., Чурсин И.Н. 2020. Методические подходы к разработке мониторинга орошаемых земель юга Европейской части России на основе материалов космической съемки // Аридные экосистемы. Т. 26. № 1 (82). С. 84-93. [Gorokhova I.N., Pankova E.I., Chursin I.N. 2020. Development of Methodological Approaches for the Assessment of the Status of Irrigated Lands in the South of the European Part of Russia Based on Space-Surveying Materials // Arid Ecosystems. Vol. 10. No. 1. P. 70-78.]
 9. Горохова И.Н., Хитров Н.Б., Прокопьева К.О., Харланов В.А. 2018. Почвенный покров Светлоярской оросительной системы через полвека мелиоративных воздействий // Почвоведение. № 8. С. 1-18.
 10. Горохова И.Н., Чурсин И.Н., Хитров Н.Б., Панкова Е.И. 2021. Распознавание сельскохозяйственных угодий по космическим снимкам // Экосистемы: экология и динамика. Т. 5. № 3. С. 5-33. [Gorokhova I.N., Chursin I.N., Khitrov N.B., Pankova Ye.I. 2021. Agricultural Lands Identification on the Satellite Imagery // Ecosystems: Ecology and Dynamics. Vol. 5. No. 3. P. 34-59].
 11. Дегтярева Е.Т., Жулидова А.И. 1970. Почвы Волгоградской области. Волгоград: Нижне-Волжское изд-во. 319 с.
 12. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного значения Российской Федерации в 2020 г. 2022. М.: ФГБНУ «Росинформагротех». 384 с.
 13. Доскач А.Г. 1979. Природное районирование Прикаспийской Based on Space-Surveying Materials. *Arid Ecosystems*. 2020;10 (1):70-78.
 9. Gorokhova IN, Khitrov NB, Prokopyeva KO, Kharlanov VA. Soil cover of the Svetloyarsk irrigation system after half a century of reclamation impacts [Pochvennyy pokrov Svetloyarskoy orositel'noy sistemy cherez polveka meliorativnykh vozdeystviy] *Eurasian Soil Science [Pochvovedeniye]*. 2018;8:1-18.
 10. Gorokhova IN, Chursin IN, Khitrov NB, Pankova Ye.I. Agricultural Lands Identification on the Satellite Imagery. *Ecosystems: Ecology and Dynamics*. 2021;5 (3):34-59.
 11. Degtyareva ET, Zhulidova AI. Soils of the Volgograd region [*Pochvy Volgogradskoy oblasti*]. Volgograd: Nizhne-Volzhskoye izd-vo, 1970:319.
 12. Report on the state and use of agricultural land of the Russian Federation in 2020 [Doklad o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' sel'skokhozyaystvennogo znacheniya Rossiyskoy Federatsii v 2020 g.]. Moscow: FGBNU "Rosinformagrotekh", 2022:384.
 13. Doskach AG. Natural zoning of the Caspian semi-desert [*Prirodnoye rayonirovaniye Prikaspiyskoy polupustyni*]. Moscow: Nauka, 1979:142.
 14. Soil salinization in Russia [*Zasoleniye pochvy Rossii*]. Moscow: IKTS "Akademkniga", 2006:854.
 15. Zimovets BA. Ecology and melioration of soils in the dry steppe zone [*Ekologiya i melioratsiya pochv sukhostepnoy zony*]. Moscow: Pochvennyy institut im. V.V. Dokuchayeva, 1991:248.
 16. Ivanova EI. Essay on the soils of the southern part of the Sub-Ural plateau and adjacent areas of the Caspian lowland [*Ocherk pochv yuzhnoy chasti Podural'skogo plato i privileyushchikh rayonov Prikaspiyskoy nizmennosti*]. Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1928:320.
 17. Ivanova EN, Fridland VM. Soil complexes of dry steppes and their evolution [*Pochvennyye komplekсы sukhikh stepey i ikh evolyutsiya*] *Issues of improving the food base in the steppe, semi-desert and desert zones of the USSR [Voprosy uluchsheniya kormovoy bazy v stepnoy, polupustynnoy i pustynnoy zonakh SSSR]*. Moscow-Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1954:162-190.
 18. Instructions on soil surveys for reclamation and

- полупустыни. М.: Наука. 142 с.
14. Засоление почвы России. 2006. М.: ИКЦ «Академкнига». 854 с.
 15. Зимовец Б.А. 1991. Экология и мелиорация почв сухостепной зоны. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева. 248 с.
 16. Иванова Е.И. 1928. Очерк почв южной части Подуральского плато и прилегающих районов Прикаспийской низменности. Л.: Изд-во АН СССР. 320 с.
 17. Иванова Е.Н., Фридланд В.М. 1954. Почвенные комплексы сухих степей и их эволюция // Вопросы улучшения кормовой базы в степной, полупустынной и пустынной зонах СССР. М.-Л.: Изд-во АН СССР. С. 162-190.
 18. Инструкция по почвенным изысканиям для мелиоративного и водохозяйственного строительства. 1975. М.: Минмелиоводхоз СССР. 89 с.
 19. Канатъева Н.П. 2013. Изучение трансформации пахотных угодий Северного Приволжья по данным дистанционного зондирования // Стратегия устойчивого развития регионов России. С. 132-137.
 20. Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В. 2011. Аэрокосмические методы географических исследований. М.: Академия. 416 с.
 21. Ковда В.А. 1937. Солончаки и солонцы М.-Л.: Изд-во АН СССР. 246 с.
 22. Конюшкова М.В. 2014. Цифровое картографирование почв солонцовых комплексов Северного Прикаспия. М.: Товарищество научных изданий КМК. 316 с.
 23. Курбанов Э.А., Воробьев О.Н., Губаев А.В., Воробьев О.Н. 2010. Использование космических снимков ALOS для выявления площадей бывших water management construction [*Instruktsiya po pochvennym izyskaniyam dlya meliorativnogo i vodokhozyaystvennogo stroitel'stva*]. Moscow: Minmeliovodkhoz SSSR, 1975:89.
 19. Kanatieva NP. Study of the transformation of arable land in the Northern Volga region according to remote sensing data [*Izucheniye transformatsii pakhotnykh ugodiy Severnogo Privolzh'ya po dannym distantsionnogo zondirovaniya*] *Strategy for Sustainable Development of Russian Regions [Strategiya ustoychivogo razvitiya regionov Rossii]*. 2013:132-137.
 20. Knizhnikov YuF, Kravtsova VI, Tutubalina OV. Aerospace methods of geographical research [*Aerokosmicheskiye metody geograficheskikh issledovaniy*]. Moscow: Akademiya, 2011:416.
 21. Kovda VA. Solonchaks and solonetztes [*Solonchaki i solontsy*]. Moscow-Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1937:246.
 22. Konyushkova MV. Digital mapping of soils of solonetzic complexes of the Northern Caspian [*Tsifrovoye kartografirovaniye pochv solontsovykh kompleksov Severnogo Prikaspiya*]. Moscow: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2014:316.
 23. Kurbanov EA, Vorobyov ON, Gubaev AV, Vorobyov ON. Using ALOS satellite imagery to identify areas of former agricultural land overgrown with forest [*Ispol'zovaniye kosmicheskikh snimkov ALOS dlya vyyavleniya ploshchadey byvshikh sel'skokhozyaystvennykh ugodiy, zarastayushchikh lesom*] *Geomatika*. 2010;4:68-72.
 24. Labutina IA, Baldina EA. Using remote sensing data to monitor protected area ecosystems [*Ispol'zovaniye dannykh distantsionnogo zondirovaniya dlya monitoringa ekosistem OOPT*] *Guidelines [Metodicheskoye posobiye]*. Moscow: WWF Russia, 2011:88.
 25. Lyubimova IN, Degtyareva ET. Changes in the carbonate profile of soils of solonetz complexes under agrogenic impact [*Izmeneniye karbonatnogo profilya pochv solontsovykh kompleksov pri agrogenom vozdeystvii*] *Eurasian Soil Science [Pochvovedeniye]*. 2000;7:855-860.
 26. Minashina NG. Reclamation of saline soils [*Melioratsiya zasolennykh pochv*]. Moscow: Kolos, 1978:263.

- сельскохозяйственных угодий, зарастающих лесом // Геоматика. №4. С. 68-72.
24. Лабутина И.А., Балдина Е.А. 2011. Использование данных дистанционного зондирования для мониторинга экосистем ООПТ. Методическое пособие. М.: WWF России. 88 с.
25. Любимова И.Н., Дегтярева Е.Т. 2000. Изменение карбонатного профиля почв солонцовых комплексов при агрогенном воздействии // Почвоведение. № 7. С. 855-860.
26. Минашина Н.Г. 1978. Мелиорация засоленных почв. М.: Колос. 263 с.
27. Новикова А.Ф., Гэпин Л.О., Конюшкова М.В. 2009. Динамика процессов засоления-рассоления почв участка «Червленое» Светлоярской оросительной системы в ирригационный и постирригационный периоды // Бюллетень почвенного института им. В.В. Докучаева. Вып. 63. М.: РАСХН. С. 16-24.
28. Панкова Е.И., Новикова А.Ф. 2004. Мелиоративное состояние и вторичное засоление орошаемых земель Волгоградской области // Почвоведение. № 6. С. 731-744.
29. Полевой определитель почв России. 2008. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева. 182 с.
30. Приходько В.Е. 1996. Орошаемые степные почвы: функционирование, экология, продуктивность. М.: Интеллект. 179 с.
31. Роде А.А., Польский М.Н. 1961. Почвы Джаныбекского стационара, их морфологическое строение, механический и химический состав и физические свойства // Труды Почвенного института им. В.В. Докучаева. Т. 56. С. 3-214.
32. Руководство пользователя ENVI 5.1. 2014. М.: Совзонд. 242 с.
27. Novikova AF, Gepin LO, Konyushkova MV. Dynamics of salinization-desalinization processes in the soils of the “Chervlenoe” site of the Svetloyarsk irrigation system during the irrigation and post-irrigation periods [Dinamika protsessov zasoleniya-rassoleniya pochv uchastka “Chervlenoye” Svetloyarskoy orositel'noy sistemy v irrigatsionnyy i postirrigatsionnyy periody] *Bulletin of the V.V. Dokuchaev Soil Institute [Byulleten' pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchayeva]*. Moscow: RASKHN, 2009;63:16-24.
28. Pankova EI, Novikova AF. Ameliorative state and secondary salinization of irrigated lands in the Volgograd region [Meliorativnoye sostoyaniye i vtorichnoye zasoleniye oroshayemykh zemel' Volgogradskoy oblasti] *Eurasian Soil Science [Pochvovedeniye]*. 2004;6:731-744.
29. Field determinant of Russian soils [Polevoy opredelitel' pochv Rossii]. Moscow: Pochvennyy institut im. V.V. Dokuchayeva, 2008:182.
30. Prikhodko VE. Irrigated steppe soils: functioning, ecology, productivity [Oroshayemyye stepnyye pochvy: funktsionirovaniye, ekologiya, produktivnost']. Moscow: Intellekt, 1996:179.
31. Rode AA, Polsky MN. Soils of the Dzhanybek station, their morphological structure, mechanical and chemical composition, and physical properties [Pochvy Dzhanybekskogo stacionara, ikh morfologicheskoye stroeniye, mekhanicheskiy i khimicheskiy sostav i fizicheskiye svoystva] *Proceedings of the V.V. Dokuchaev Soil Institute [Trudy Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchayeva]*. 1961;56:3-214.
32. ENVI User Manual 5.1 [Rukovodstvo pol'zovatelya ENVI 5.1]. Moscow: Sovzond, 2014:242.
33. Rukhovich DI, Shapovalov DA. On the features of soil and land cover monitoring as an information basis for effective land use [Ob osobennostyakh monitoringa pochvenno-zemel'nogo pokrova kak informatsionnoy osnovy effektivnogo zemlepol'zovaniya] *Land Management, Cadaster and Land Monitoring [Zemleustroystvo, kadastr i monitoring zemel']*. 2015;12:31-49.
34. Savin IYu, Otarov A, Zhogalev AV, Ibraeva MA, Duysekov S. Identification of long-term changes in the area of saline soils of the Shoulder irrigated massif using Landsat satellite images [Vyyavleniye

33. Рухович Д.И., Шаповалов Д.А. 2015. Об особенностях мониторинга почвенно-земельного покрова как информационной основы эффективного землепользования // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. № 12. С. 31-49.
34. Савин И.Ю., Отаров А., Жогалев А.В., Ибраева М.А., Дуйсеков С. 2014. Выявление многолетних изменений площади засоленных почв Шаульдерского орошаемого массива по космическим снимкам Landsat // Бюллетень почвенного института им. В.В. Докучаева. Вып. 74. С. 49-63.
35. Сиземская М.Л. 2013. Современная природно-антропогенная трансформация почв полупустыни Северного Прикаспия. М.: Товарищество научных изданий КМК. 276 с.
36. Сорокина Н.П. 2006. Методология составления крупномасштабных агроэкологически ориентированных карт. М.: Россельхозакадемия. 159 с.
37. Фазылова А.Г. 2014. Изучение травянистой растительности одновозрастных залежей на примере двух участков природно-географических территорий республики Татарстан. Казань: ФГАОУВПО «Казанский (Приволжский) Федеральный Университет». 62 с.
38. Фридланд В.М. 1964. Светло-каштановые почвы // Почвы комплексной равнины Северного Прикаспия и их мелиоративная характеристика. М.: Наука. С. 22-59.
39. Хитров Н.Б., Понизовский А.А. 1990. Руководство по лабораторным методам исследования ионно-солевого состава нейтральных и щелочных многолетних измененных площадей засоленных почв Шаульдерского орошаемого массива по космическим снимкам Landsat [Bulletin of the V.V. Dokuchaev Soil Institute [Byulleten' pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchayeva]. 2014;74:49-63.
35. Sizemskaya ML. Modern natural-anthropogenic transformation of soils in the semi-desert of the Northern Caspian Sea [Sovremennaya prirodno-anthropogennaya transformatsiya pochv polupustyni Severnogo Prikaspiya]. Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2013:276.
36. Sorokina NP. Methodology for large-scale agri-environmentally oriented mapping [Metodologiya sostavleniya krupnomasshtabnykh agroekologicheskii oriyehtirovannykh kart]. Moscow: Russian Rossel'khozakademiya, 2006:159.
37. Fazylova AG. Study of herbaceous vegetation of even-aged deposits on the example of two sections of the natural-geographical territories of the Republic of Tatarstan [Izucheniye travyanistoy rastitel'nosti odnovozrastnykh zalezhey na primere dvukh uchastkov prirodno-geograficheskikh territoriy respubliki Tatarstan]. Kazan: FGAOUVPO "Kazanskiy (Privolzhskiy) Federal'nyy Universitet", 2014:62.
38. Fridland VM. Light chestnut soils [Svetlo-kashtanovyye pochvy] Soils of the complex plain of the Northern Caspian region and their reclamation characteristics [Pochvy kompleksnoy ravniny Severnogo Prikaspiya i ikh meliorativnaya kharakteristika]. Moscow: Nauka, 1964:22-59.
39. Khitrov NB, Ponizovsky AA. Guidelines for laboratory methods for studying the ion-salt composition of neutral and alkaline mineral soils [Rukovodstvo po laboratornym metodam issledovaniya ionno-solevogo sostava neytral'nykh i shchelochnykh mineral'nykh pochv]. Moscow: Pochvennyy institut im. V.V. Dokuchayeva, 1990:236.
40. Chandra AM, Ghosh SK. Remote sensing and geographic information systems [Distantionnoye zondirovaniye i geograficheskiiye informatsionnyye sistemy]. Moscow: Tekhnosfera, 2008:312.
41. Shovengerdt RA. Remote sensing [Distantionnoye zondirovaniye] Models and

- минеральных почв. Почвенный институт им. В.В. Докучаева. 236 с.
40. Чандра А.М., Гош С.К. 2008. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. М.: Техносфера. 312 с.
41. Шовенгердт Р.А. 2013. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. М.: Техносфера. 592 с.
42. Gorokhova I., Pankova Ye. 2021. The nature of the patchiness of the irrigated fields and the possibility of its recognition on space imagery // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 862. P. 012092.
43. Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS // 3rd ERTS Symposium, NASA SP-351. Vol. I. P. 309-317.
44. Soil survey investigation for irrigation. 1979 // FAO Soil Bulletin. Rome: FAO. Vol. 42. 188 p.
- methods of image processing [Modeli i metody obrabotki izobrazheniy]*. Moscow: Tekhnosfera, 2013:592.
42. Gorokhova I, Pankova Ye. The nature of the patchiness of the irrigated fields and the possibility of its recognition on space imagery. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;862:012092.
43. Rouse JW, Haas RH, Schell JA, Deering DW. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *3rd ERTS Symposium, NASA SP-351*. 1973;I:309-317.
44. Soil survey investigation for irrigation. *FAO Soil Bulletin*. Rome: FAO, 1979;42:188.

UDC 631.4

METHODOLOGICAL APPROACHES TO ASSESSING THE STATE OF IRRIGATED LAND IN THE DRY STEPPE ZONE OF THE VOLGOGRAD REGION USING SATELLITE IMAGES

© 2023. I.N. Gorohova, E.I. Pankova

V.V. Dokuchayev Soil Institute

Russia, 119017, Moscow, Pyzhevsky Per., 7. E-mail: g-irina14@yandex.ru

Received December 16, 2022. Revised February 01, 2023. Accepted February 02, 2023.

In this article we present the materials of studies that were carried out in the Volgograd Region. They can be used as the basis for methodological recommendations to map and determine the area and condition of irrigated lands using satellite images. They were obtained during the long-term researches in the irrigated lands in the Volgograd Region that took place on solonetz complexes in the dry steppe. Satellite imagery will help to map and determine 1) the areas of irrigated lands, 2) the areas and age of fallow lands in irrigated territories, 3) the state of irrigated soils and factors that limit their fertility. Crops growing in different hydrogeological conditions react differently to those limiting factors. Therefore, to compile a map it is recommended to adhere to such stages as identifying fields with different crops and fallow lands; highlighting patches in the images with sparse or absent crops; on the basis of field researches and analyzed soil samples, establishing the cause of the patchiness; selecting an algorithm for processing satellite images based on the results of field researches. The patchiness of irrigated fields, reflected in the images, can have a different origin, so their interpretation requires a

mandatory study of the characteristics of the chosen area. Patchiness associated with secondary and residual salinization of soils is determined by the state of vegetation; therefore, the pictures should be taken during the period of high vegetative activity of plants. Among other things, it is necessary to obtain data on the level of groundwater, because its critical level is the main cause of secondary salinization. For deeply saline soils, it is necessary to build a salt map using interpolation of point data that was obtained in the field and laboratory. Patchiness associated with the carbonate content in the surface horizon does not depend on the level of groundwater and is best seen on the images showing an open soil surface. The accuracy of the map is checked by comparing it with maps of a larger scale and field observations, as well as by evaluating the accuracy of the classification of the image by determining the verification indexes. The materials presented in our article are intended for a wide range of specialists who use space information in their work, as well as for soil scientists, agronomists and agrochemists who work in the agricultural field of the southern regions of Russia.

Keywords: dry steppe zone, irrigated lands, saline soils, satellite imagery, mapping of irrigated soils.

Funding. This work was carried out for the State Assignment No. 0439-2022-0009 “To Study the Transformation, Evolution and Degradation of the Soil Cover of Agricultural Landscapes at Different Organizational Levels, Including Intra-field Heterogeneity Using a Combination of Ground Surveys and Digital Technologies”.

DOI: 10.24412/2542-2006-2023-1-5-37

EDN: DTKKMP

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

UDC 631.4

**METHODOLOGICAL APPROACHES TO ASSESSING THE STATE OF IRRIGATED LANDS
IN THE DRY STEPPE ZONE OF THE VOLGOGRAD REGION USING SATELLITE IMAGES**

© 2023. I.N. Gorohova, E.I. Pankova

*V.V. Dokuchayev Soil Institute
Russia, 119017, Moscow, Pyzhevsky Per., 7. E-mail: g-irina14@yandex.ru*

Received December 16, 2022. Revised February 01, 2023. Accepted February 02, 2023.

In this article we present the materials of studies that were carried out in the Volgograd Region. They can be used as the basis for methodological recommendations to map and determine the area and condition of irrigated lands using satellite images. They were obtained during the long-term researches in the irrigated lands in the Volgograd Region that took place on solonetz complexes in the dry steppe. Satellite imagery will help to map and determine 1) the areas of irrigated lands, 2) the areas and age of fallow lands in irrigated territories, 3) the state of irrigated soils and factors that limit their fertility. Crops growing in different hydrogeological conditions react differently to those limiting factors. Therefore, to compile a map it is recommended to adhere to such stages as identifying fields with different crops and fallow lands; highlighting patches in the images with sparse or absent crops; on the basis of field researches and analyzed soil samples, establishing the cause of the patchiness; selecting an algorithm for processing satellite images based on the results of field researches. The patchiness of irrigated fields, reflected in the images, can have a different origin, so their interpretation requires a mandatory study of the characteristics of the chosen area. Patchiness associated with secondary and residual salinization of soils is determined by the state of vegetation; therefore, the pictures should be taken during the period of high vegetative activity of plants. Among other things, it is necessary to obtain data on the level of groundwater, because its critical level is the main cause of secondary salinization. For deeply saline soils, it is necessary to build a salt map using interpolation of point data that was obtained in the field and laboratory. Patchiness associated with the carbonate content in the surface horizon does not depend on the level of groundwater and is best seen on the images showing an open soil surface. The accuracy of the map is checked by comparing it with maps of a larger scale and field observations, as well as by evaluating the accuracy of the classification of the image by determining the verification indexes. The materials presented in our article are intended for a wide range of specialists who use space information in their work, as well as for soil scientists, agronomists and chemists who work in agriculture in the southern regions of Russia.

Keywords: dry steppe zone, irrigated lands, saline soils, satellite imagery, mapping of irrigated soils.

DOI: 10.24412/2542-2006-2023-1-38-65

EDN: BLIRXH

The Volgograd Region is the largest agricultural region in Russia. According to the Ministry of Agriculture (Report on the state ..., 2022), the total area of arable lands in this region as of January 1, 2021 was about 5794 thousand hectares, of which 178.840 thousand hectares were irrigated.

Irrigation in the Volgograd Region began long before the revolution, and by the 19th century the area of irrigated land was 8.7 thousand ha (Prikhodko, 2012). Widespread and regular irrigation began to develop around the 50-60s and reached its peak in 1989, with 345.2 thousand ha of irrigated territory, which was 4.6% of all agricultural land in the region (Pankova, Novikova, 2004). In the 1990s, due to the difficult economic situation in the country, the irrigated area sharply decreased. In 2001, they amounted to 259.4 thousand ha, i.e. 3.2% of the area, and by 2015 only about 179 thousand ha remained (Pankova, Novikova, 2004; Gorohova et al., 2019). In 2021, the area was almost the same, about 178.840 thousand ha.

The lands of the dry steppe of the Volgograd Region are actively used for arable lands, hayfields and pastures. The local soil cover is made of various combinations, including chestnut non-solonchic and solonchic soils of the well-drained watersheds; chestnut solonchic complexes with different percentage of solonchics in automorphic, semi-hydromorphic and hydromorphic conditions; combinations and patches of meadow-chestnut and meadow soils of different salination and alkalinity; and alluvial soils in river valleys. Many Soviet and Russian researchers established the main patterns of the natural soil state for the dry steppe zone under the virgin conditions, at the early and following stages of the active agricultural development (Antipov-Karataev, 1953; Ivanova, 1928; Ivanova, Fridland, 1954; Kovda, 1937; Rode, Polsky, 1961; Friedland, 1964; Minashina, 1978; Zimovets, 1991).

From the 60s of the 20th century, the classical methods for studying soils of solonchic complexes have been actively expanding, eventually adding remote sensing (aerial and satellite imagery) to the list. So, these days, the satellite method is among the main ones for studying and mapping the condition of irrigated lands. Those images are high-precision spatio-temporal models that provide data on the dynamics of the land use degradation and patterns for long periods of time. Interpretation of satellite imagery helps to determine the diverse natural features of irrigated lands and important elements of agricultural activities, such as crop rotations, irrigation methods and reclamation measures. It is also possible to determine many dynamic states of natural complexes in the natural and anthropogenic conditions.

In Russia, satellite data is actively used for mapping fallow lands, because significant areas of abandoned land is a serious problem of the country (Kurbanov, 2010; Kanatieva, 2013; Fazylova, 2014; Aldoshin et al., 2015; Rukhovich, Shapovalov, 2015). Besides that, salinity of irrigated soils is also studied (Novikova et al., 2009; Savin et al., 2014; Konyushkova, 2014).

An opportunity to assess the current state of irrigated soils remotely is especially important for hard-to-reach areas, because it improves the management strategy of the entire irrigated complex as a whole, allowing to reduce time and cost required for ground and laboratory researches.

However, the interpretation of remote data requires a mandatory study of every feature specific for the study area using the field work and analysis of soil samples. Many years of our experience confirm the need for joint use of ground and remote methods.

The purpose of this article is to present the experience and materials of long-term studies that were conducted in the irrigated lands in the Volgograd Region using the remote sensing data which shows the features of the studied region and provides necessary information for the further development of methodological recommendations.

Study methods. We used satellite data and modern methods required to process it, as well as field studies of soils and laboratory methods for determining the composition of soluble salts: usage of water extract (1:5) to determine the amount of toxic salts (%); measurement of Ca^{2+} , Na^+ and Cl^- activity in soil pastes with a constant moisture content of 40%, using ion-selective electrodes (mmol/l); determination of CaCO_3 (%) in soil profile (Arinushkina, 1970; Khitrov, Ponzovsky, 1990).

1. Satellite Data for Assessing the State of Irrigated Lands in the Dry Steppe Zone of the Volgograd Region

1.1. Requirements for Satellite Imagery

Over recent decades, satellite imagery has been helping to obtain objective information about many objects, their homogeneity/heterogeneity, anthropogenic disturbance, and the way to use them.

The main characteristic of those images is their type, because they can be panchromatic and

multispectral in the visible, infrared or radio range of the electromagnetic spectrum. Aside from that, their spatial resolution is important, together with the season and time when the images are taken. Certain characteristics help with certain kind of research and depend on the features of the study area.

Satellite imagery resolution. Today there is a wide selection of high spatial resolution images (up to 15 m) and ultra-high (up to 1 m) images that can be purchased for further study. To solve the problems of surveying irrigated lands, satellite multispectral open-access images of the Landsat Survey System have proven themselves quite well, having a resolution of 30 m in the multispectral range, and 15 m in the panchromatic range per 1 pixel, as well as the images of Sentinel-2, because they have a resolution of 10 m per 1 pixel in the multispectral range.

Satellite imagery type. A series of zonal images is a spectral summary of the studied object. Based on our experience, it is recommended to use multispectral (with RGB and infrared ranges) and panchromatic images for irrigated soils, because the red and infrared zones of the spectrum are the most informative for the analysis of the state of crops and soils, and the panchromatic images are required to increase the overall resolution.

When working with digital images, it is necessary to use those that have passed such processing stages as spatial referencing to a coordinate system (i.e. geocoding), conversion to a standard projection type, and orthorectification. When the Landsat and Sentinel images are downloaded, it should be noted that they undergo two levels of processing, which are the primary radiometric or geometric correction and geocoding or conversion to the WGS-84 standard. Table 1 below shows the most commonly used projections in Russia.

Table 1. Main geodetic coordinate systems and projections.

Geodetic coordinate systems	Projection	Ellipsoid
SK-42 (Pulkovo)	Gauss–Krüger transverse Mercator	Krasovsky 1940
WGS-84	Universal transverse Mercator	WGS-84

Satellite images from the foreign distributors come pre-converted to the WGS-84 coordinate system, but Russian topographic maps are compiled in the local SK-42 system. The difference between coordinates in these systems can reach 2 km along the Y axis in WGS-84 (or X in SK-42 system), and several 100 meters along the X axis (Labutina, Baldina, 2011). Therefore, when sharing (i.e. overlaying) foreign satellite images and Russian maps, it is necessary to convert them all into the same system.

Adjustment of coordinate systems is necessary for the ground work as well, when the coordinates are determined by a global navigation satellite system, such as GPS or GLONASS. However, many modern GPS receivers can already transit from WGS-84 to SK-42 (Pulkovo).

The third stage of image processing is orthorectification, which can be either ordered to be performed by the specialists or carried out personally. It is a necessary stage for mountainous terrain due to distortions caused by the deviation of the optical axis of the satellite camera from the vertical position in the moment when a picture is taken, as well as by the translocation due to the relief. To make the contours that were selected on the image fit the map exactly, it is necessary to transform them, because even for flat terrains, the error in the planned location of points can be up to several meters. In Table 2 below we show the points on the plan deviating from the average height of the area depending on the angle that the images were taken at.

Besides, orthotransformation is carried out taking into account various relief models. The most commonly used modern digital model is the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), which

was created on the basis of a radar survey from the Shuttle space shuttle made in 2000. SRTM is an international project that is used to form a digital elevation model of a part of the globe (from S56° to N60°). Originally, its grid was about 30 m; later, the public version was released with the grid up to 90 m. The latest version of this model (released in 2009) provides an absolute height accuracy of 16 m and a relative height accuracy of 10 m (Labutina, Baldina, 2011).

Table 2. The error severity on the plan/map depending on the terrain and angle of deviation from the nadir (ENVI User Manual ..., 2014).

Angle of deviation from the nadir (°)	Height deviation on the plan from the average value of the relief on the ground (m)				
	2	10	50	100	500
5	0	1	4	9	44
15	0.5	3	13	27	134
25	1	5	23	47	233

Period and season for satellite imagery. It is recommended that the year of shooting be consistent with the year of research. The season should correspond to the period when the studied objects (such as irrigated lands) are at their peak contrast in the images. To identify irrigated lands, it is better to use images for the spring-summer period (from Mat to early June), because they clearly show which lands are cultivated and which are not. In addition, during that period, different crops (ripened winter cereals, fodder) and fallows are well distinguished (Fig. 1).

1.2. Pre-processing

Satellite images are processed with the help of special programs that often provide the extraction of information along with the integration of images with GIS data. Those programs are quite numerous and vary in complexity. ENVI, ERDAS Imagine and PCI Geomatica are the most popular among the high-level ones, carrying out a full processing of all currently existing types of remote surveys.

There are also freely distributed programs that can be used to perform basic image processing. For example, MultiSpec can open, view and process multispectral and hyperspectral images; ILWIS and QGIS can process images, including their geometric transformations and coordinate referencing, and work with vector maps, providing import and export of commonly used raster and vector data formats.

Most GIS packages (AutoCADMap, MapInfo, ArcGISDesktop/Workstation and its most common modules Arc/Info and ArcView) can create vector maps from a raster background, but cannot carry out various classification and index calculations. However, they can create vector maps based on images that were obtained after a preliminary processing in special software packages.

Image preparation. Image processing includes a many brightness transformations, which improve the overall quality both for visual interpretation on the screen and for subsequent automated processing. Among the most commonly used transformations are contrast enhancement, filtering, synthesis of different channels, creation of index images and image classification by brightness.

Filtering is a necessary step in the imagery pre-processing for the further analysis. Often it is needed to find out the changes that the spectral properties of soils and vegetation go through over time, or to analyze the brightness characteristics in the images of different sensors. In this case, satellite images should be comparable. It is also necessary to exclude the influence of the atmosphere on the image. Making appropriate corrections is called radiometric calibration and

atmospheric correction. Radiometric calibration is designed to eliminate the system interference of sensors, and atmospheric correction is required to eliminate the atmospheric influence (Fig. 2).

Another image enhancing technique is to increase the geometric size of a pixel, usually a multispectral one (30 m for Landsat OLI-8), by combining it with an image of a higher spatial resolution, usually a panchromatic one (15 m for Landsat OLI-8). In order to do this, all images must be obtained by one sensor only or be in the same coordinate system and projection. The specialized programs listed above have special options for combining images of different resolutions (Fig. 3).



A) 01/05/2016.



B) 08/07/2016.

Fig. 1 A, B. Irrigated lands and crops on the Landsat OLI-8 images for different months: A (01/05/2016) – in the early May winter cereals and fodder are well defined, B (08/07/2016) – in June winter cereals have been harvested, but fodder is still well defined.



C) 08/09/2016.

Fig. 1 C. Irrigated lands and crops on the Landsat OLI-8 images for different months: C (08/09/2016) – in September crops are already harvested, but the harvested fields where the winter cereals were and the plowed fields are well defined.

1.3. Pre-field Study of Irrigated Lands

To study the irrigated lands, the irrigation systems should be preliminary identified based on satellite imagery. Unlike rainfed lands, irrigated ones have their own deciphering features, the main ones being as follows below.

1. The irrigated fields are usually smaller than rainfed crop fields;
2. The irrigated fields are fed by a head irrigation canal and smaller distribution canals that can be seen on the image;
3. The irrigated fields can be usually defined by their round shape (Fig. 4).

It is recommended to study the irrigation systems on topographic maps, so that the obtained information could be used later to analyze the image. The map helps to accurately identify the irrigation systems that functioned in the Soviet period, while the satellite image helps to understand what is happening to them these days. Figure 5 shows irrigation systems located along the Volga-Don Canal. When comparing the images on the topographic map of 1984 and the satellite image of 2016, it can be noted that not all systems are currently functioning, and the configuration of some irrigated areas has changed due to the cultivation of additional areas.

According to the cadastral registration, many lands are registered as irrigated, but in fact they are used for dry farming, therefore it is not entirely correct to classify them as irrigated. Unfortunately, even with the satellite images and field studies available, only the land owners can tell whether their lands are irrigated or used for dry farming.

Allocating the cultivated and fallow lands. A preliminary visual analysis of the satellite RGB-image makes it possible to establish if the irrigation system is partially or completely abandoned and has turned into a perennial fallow. A blurred pattern and an absence of crops distinguish the perennial fallow land from crop fields during the active growing season. Sometimes the image shows that the distribution canals have no water or are filled up with soil.

To separate irrigated and non-irrigated fields on multispectral space images, we select and use a combination of different channels (Fig. 6, 7).



A) Original image.



B) Image after radiometric calibration.



C) Image after atmospheric correction based on the MODTRAN model.

Fig. 2. Filtered Landsat OLI-8 images (09/06/2015).



A



B

Fig. 3. A – multispectral image of irrigated lands obtained from Landsat OLI-8 on 01/05/2016, B – combination of a multispectral image and a panchromatic channel.

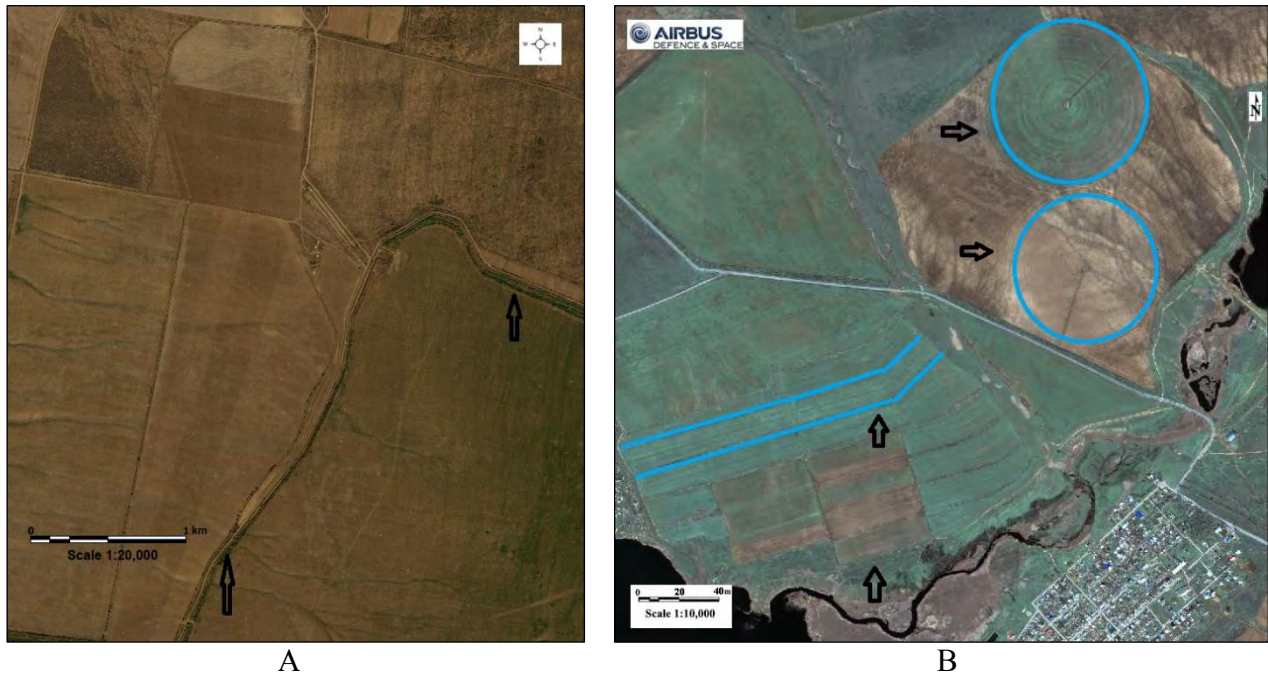


Fig. 4. Irrigation canals on satellite images: A – mail canal, B – pivot irrigation and temporary sprinklers on the satellite images obtained from Yandex.ru and Pliedas on 18/04/2019 for the irrigated lands of the Volgograd Region.

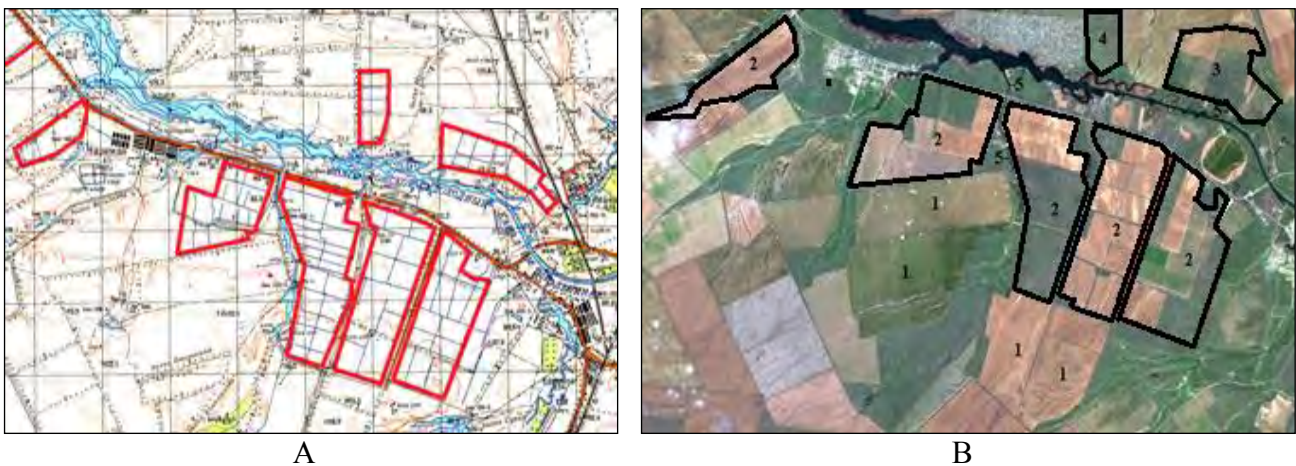


Fig. 5. Irrigation systems along the Volga-Don Canal. *Legend:* A – on a topographic map of 1984 (scale 1:100,000), B – on a satellite image (RGB; obtained from the Landsat OLI-8 on 01/05/2016; 1 – lands for dry farming, 2 – irrigated lands, 3 – irrigated areas with an increased area, 4 – abandoned irrigated lands (Gorokhova et al., 2020), 5 – irrigation canal.

When allocating a perennial fallow in the Landsat-8 satellite image (04/04/2020) using a combination of channels 7, 5 and 4 (short-wave infrared, near infrared and red), a younger fallow (up to 5 years old) is showed in bright pink, while the more mature one is paler (Fig. 6).

The irrigated lands are well distinguished on the Sentinel-2 satellite image (27/07/2020) in the 2, 3 and 4 channels (green, red and near infrared) as the bright purple patches (Fig. 7).

During the survey of irrigated lands from May to June, mature winter cereals are well distinguished in the image from forage fields (Fig. 8).

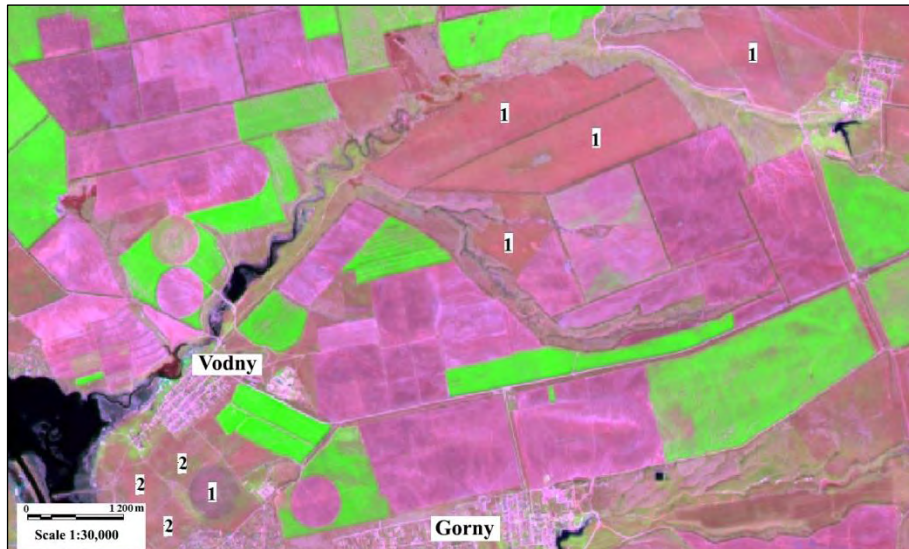


Fig. 6. Long-term fallow lands on a Landsat-8 image obtained on 04/04/2020 for the central part of the Volga-Don irrigation system, channels 7, 5 and 4 (short-wave, infrared, near infrared and red; Gorokhova et al., 2021). *Legend:* 1 – fallows up to 5 years old, 2 – fallows over 5 years old.



Fig. 7. Irrigated areas (1) on a Sentinel-2 image obtained on 27/07/2020, channels 2, 3 and 4 (green, red and near infrared; Gorokhova et al., 2021).

The result of automatic crops allocation in the irrigated lands during the Pliedas multi-zonal ultra-high resolution satellite image (0.5 m) processing is shown in Figure 9. It was necessary to separate fields with different crops, for which the ISODATA unsupervised classification algorithm was used (i.e. image classification without training). The main parameter set before processing was the number of classes (3) that we wanted to obtain in the end. As a result of automatic image processing, fields with mature winter cereals, harvested winter crops and forage grasses were identified (Fig. 9).

After a visual or programmed vectorization of the irrigated lands, different crop fields and fallow lands, it is possible to automatically calculate the areas of each object (Fig. 10, 11).

Determining the soil properties in the irrigated lands. The surface of irrigated fields is often characterized by heterogeneity, i.e. patchiness, which can be clearly seen on the materials of remote sensing. Depending on the soil properties, the images of the fields vary.



Fig. 8. Fields with different crops and perennial fallow lands on the Landsat OLI-8 RGB-image obtained on 01/05/2016 (Gorokhova et al., 2020). *Legend:* 1 – winter cereals, 2 – fodder field, 3 – mown fodder field, 4 – fallow arable land, 5 – perennial fallow.

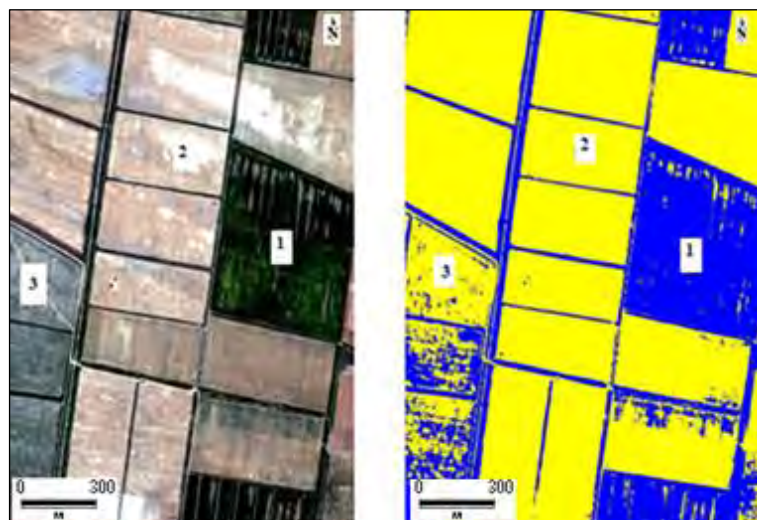
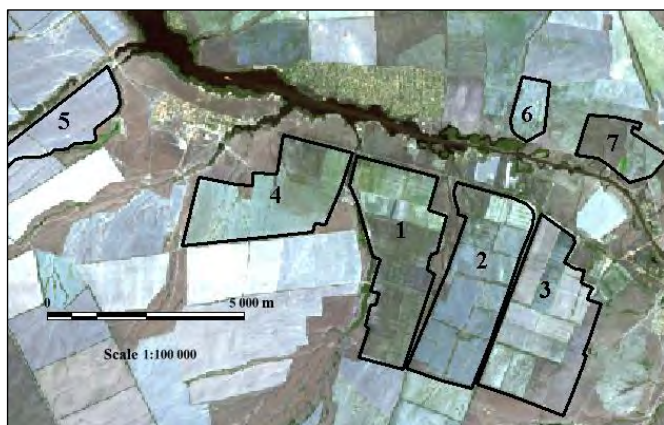


Fig. 9. Part of a multispectral Pliedas image (20/05/2015) after an unsupervised classification (ISODATA) to identify the fields with different crops in the Volgograd Region (Gorokhova et al., 2018). *Legend:* 1 – fodder field, 2 – ripe winter cereals, 3 – harvested winter cereals.

The objects of our study were the irrigated lands of the Svetloyarsk Irrigation System in the Volgograd Region, located in different natural regions: the “Chervlenoe” is located in the north of the Yergeni Upland; the Svetloyarsky and Raigorodsky irrigated massifs are located in the Northern Sarpinsky Lowland of the Caspian Lowland (Doskach, 1979). Further below we discuss the natural features of this study areas and the state of its irrigated massifs in the past and at the present.

The entire Volgograd Region has extremely poor and uneven soil moisture due to heavy rainfall, the main source of moisture being the melted snow.

Only the northern part of the Yergeni Upland enters the Volgograd Region. Its elevation values do not exceed 150-180 m, with watersheds and slopes of river valleys and gullies being the dominant type of relief. Before irrigation groundwater on its watersheds was as deep as 18-20 m, and down to 5 m in depressions. The water mineralization was 1-10 g/l, varying from chloride-sodium-magnesium to sulfate-calcium composition.

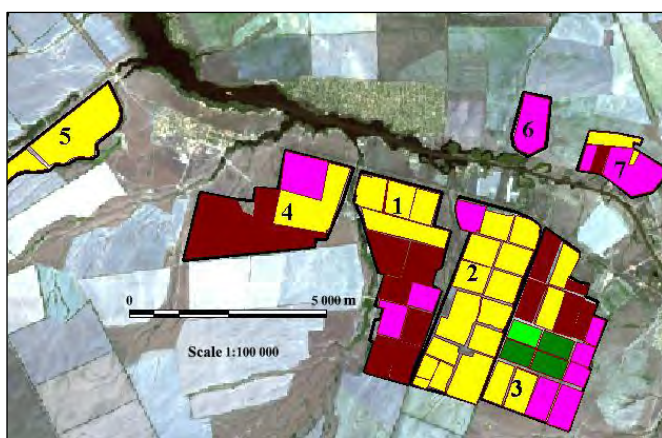


A

Номер_массива	Код	Объект	Площадь_га
1	0	Орошаемый массив	682,00
2	0	Орошаемый массив	749,00
3	0	Орошаемый массив	758,00
4	0	Орошаемый массив	612,00
5	0	Орошаемый массив	300,00
6	0	Орошаемый массив	100,00
7	0	Орошаемый массив	212,00
Всего			3 413,00

B

Fig. 10. Irrigated territory along the Volga-Don Canal (A) and its area (B), marked and calculated on a synthesized Landsat-8 OLI RGB-image obtained on 19/06/2015 (Gorokhova et al., 2020). *Legend:* 1-7 – irrigated areas; right column – their area, ha; bottom line – total area, ha.



A

Номер_массива	Код	Объект	Площадь_га
Всего	1	Озимые зерновые	1 708,00
	2	Кормовые травы	38,00
	3	Скошенные кормовые травы	126,00
	4	Пашня под паром	853,00
	5	Залежь	678,00

B

Fig. 11. Fields with different crops and fallow lands in the irrigated territory along the Volga-Don Canal (A) and their area (B), marked and calculated on a synthesized Landsat-8 OLI RGB-image obtained on 19/06/2015 (Gorokhova et al., 2020). *Legend:* 1 – winter cereals, 2 – fodder fields, 3 – harvested fodder fields, 4 – leys, 5 – fallow lands; right column – their area, ha.

Before irrigation the soil cover was a complex of light chestnut solonetzic soils and solonetzes (25-50% and >50%) with a low proportion of meadow chestnut soils. The soil-forming rocks were saline carbonate loess-like loams and clays. Solonetztes were dominated by medium and deep solonetztes, saline starting at 20-40-centimeter-depth and predominantly sulfate-magnesium, often with the participation of soda in the solonetzic horizon (Degtyareva, Zhulidova, 1970).

The beginning of the irrigated development of this area dates back to the 60s of the 20th century.

In the late 80s and early 90s, i.e. during the irrigated development, the groundwater level in the “Chervlenoe” massif reached its critical values of 3-2.5 m, and 1.5-2 m in some other areas. This caused the secondary soil salinization over a very large area. Since the mid-90s, the massif was not irrigated at all, but in the 2000s some of its fields were finally used for irrigation. Currently, its groundwater level is deeper than 5 m.

The “Chervlenoe” massif has been irrigated and continues to be irrigated from the Volga-Don Canal. The canal’s mineralization is of hydrocarbonate-sodium composition, varying from 0.72 to 0.84 g/l. Initially, it was a surface irrigation, but from the 2000s the sprinkler irrigation has been used.

The Svetloyarsky and Raygorodsky massifs are located in the Northern Sarpinsky Lowland of the Caspian Lowland. The northern Sarpinsky Lowland is a marine plain of the Early Khvalynsk transgression, with its absolute heights ranging from 40-50 m in the north to 15-30 m in its center. In general, this area is poorly drained. Its main landscape type is a loamy complex plain, with well-distinguished strips of flooded and depressed meadows along the gullies. Its soils are predominantly light chestnut solonchic, with solonchics (25-50% and > 50%), and desalinated meadow-steppe and meadow in depressions (Dorskach, 1979).

The soil-forming rocks of this plain are the sediments of the Khvalynsk Sea: clays, loams with a high concentration of soluble salts, with the highly saline chocolate-colored clays underneath. If the chocolate clays are located a bit closer, they become soil-forming rocks (Degtyareva, Zhulidova, 1970).

The Svetloyarsky and Raygorodsky massifs have been irrigated and continue to be irrigated from the Volga River. Its composition is hydrocarbonate-calcium and mineralization is 0.4-0.5 g/l.

The drip and sprinkling methods are currently used in the Svetloyarsky massif, although in some fields the surface irrigation is implemented. Its groundwater level never reached past the 3 m threshold throughout the entire period of irrigation; however, for the last 10 years it remains deeper than 5 m.

The groundwater level of the Raigorodsky massif reached its critical values of 3-2.5 m in the early 1990s, and 1.5-2 m in the south of the area. This caused the secondary medium and strong soil salinization in some parts of the massif in a 1 m layer. The soils of the former depressions were the first to become salinized, which, with a close location of groundwater, underwent the process of secondary salinization. From the mid-90s to the present, the massif has not been irrigated and is considered a perennial fallow.

During the construction of the irrigation system, all massifs underwent a strict field planning.

The long-term studies on the “Chervlenoe” irrigated massif helped to determine that the secondary soil salinization patchiness manifests itself whenever the groundwater level is high (2.5-1.5 m), leading to the withering of fodder grasses that looks like light spots of various sizes and characterizes a strong salinization down to 1 m regardless of the size of the spots. The dark color in the image with fodder grasses reflects low and medium salinity in the fields with large patches (100-500 m²), as well as non-saline and slightly saline soils in the fields with small and medium patches of dead grass (< 50 m² and 50-100 m²; Fig. 12).

It was also determined that the light patches of the Chervlenoe and Svetloyarsky massifs can be associated with the carbonate content of the arable horizon. There are two types of a carbonate profile formation in the study area. The first type is the removal of the humus horizon during the field planning for the irrigation system construction, followed by the filling that is carried out using a mixture of different horizons. The said filling usually contains carbonates. In some cases, during planning a large part of the soil profile was removed, including the horizon with the white lime nodules. In case of the second type, the secondary surface carbonization occurs due to the soil solutions moving up to the surface into the layer with roots. Both types were previously discussed in some earlier works (Baranovskaya, Azovtsev, 1981; Zimovets, 1991; Lyubimova, Degtyareva, 2000; Sizemskaya, 2013).

Leveling and removal off elevated areas led to the removal of solonetzic horizons from crusty and small solonetztes that used to occupy elevated forms of micro- and mesorelief. As a result, solonetztes are quite rare in irrigated fields, but sometimes the fragments of their horizons can be found there.

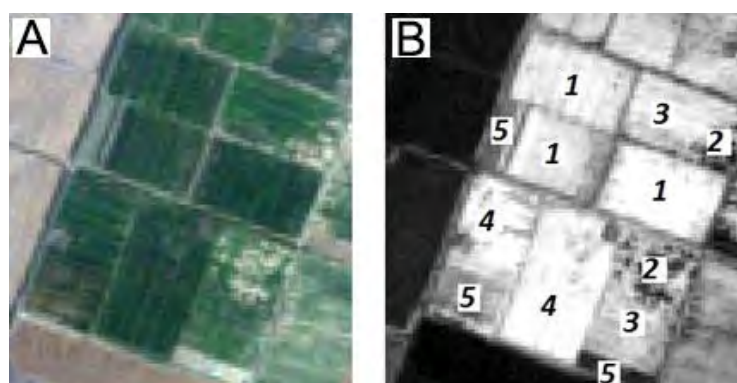


Fig. 12. Part of the “Chervlenoye” irrigated area (Svetloyarsk irrigation system, dry steppe of the Volgograd Region, Yergeni Upland). *Legend:* A – Landsat-8 OLI RGB-image obtained in August 1989, B – image of burclover fields, classified according to NDVI, with the groundwater level equal 2.5-1.5 m (Gorokhova, Pankova, 2021), 1 – nonsaline soils, fodder crop without any patches (NDVI = 0.74-0.75), 2 – bare patches of secondary heavily saline soils up to 1 m (NDVI = 0.18-0.27), 3 – weakly and averagely saline soils in the fields around large patches of absent crops (NDVI = 0.59-0.66), 4 – nonsaline and weakly saline soils in the fields around small and average patches of absent crops (NDVI = 0.65-0.71), 5 – harvested crops.

It was established that the patchiness of surface-calcareous soils is stable, does not depend on the groundwater level and is clearly visible both in the field and the images during any period, occurring together with spots of secondary saline soils. It is displayed on the open soil surface in the winter crop fields, and its area can be about 10,000-20,000 m². In the burclover fields with furrow irrigation the surface-carbonated soils cause crop fallout in the area of about 2,000-3,000 m². According to “Soil Survey Investigation for Irrigation” (1979), drying irrigated soils with a high content of carbonates (>2-4%) contribute to the formation of a crust that affects the agrophysical and agrochemical soil properties and prevents the growth of sprouts. Therefore, it is important to know the content of carbonates in the arable horizon.

In order to distinguish the surface carbonate patchiness from the secondary saline patchiness, it is necessary to analyze images with the open fields taken in the early spring, when the carbonate spots are well identified in contrast to the spots of soil salinity that are not visible on the open surface (unless it is a solonchak) and can change their boundaries from season to season under growing fodder due to the dynamic salinization process.

After finding out that the surface-calcareous soils on satellite image are shown as the light spots, it should be determined and confirmed with field studies to what extent the spotting is related to the CaCO₃ content in the upper horizons. We determined that the content of carbonates in the 0-25 cm layer was related to the spotting on a satellite image as follows: the average amount of CaCO₃ for all irrigated areas reached > 6% on the large bright spots (> 1,000 m²), 4-6% on the small spots (from 100 m²), and 0-4% within the rest of the background. The content of carbonates can both decrease and increase depending on the depth (Fig. 13).

The assessment of residual salinity by the patchiness of the fields was carried out in the Raigorodsky irrigated area. In the 1990s, this massif was in harsh hydrogeological conditions, because the groundwater level in its south (sulfate-sodium water) was 1.5-2 m, resulting in the

formation of pockets of secondary strongly and moderately saline soils. Those were the soils of former depressions, which were quickly subjected to the process of secondary salinization due to the closeness of groundwater and a tight connection with it.

The modern images show the foci of former secondary salinization as large dark spots on a 3500 m² perennial fallow due to the forbs (Fig. 14). Now, when the groundwater level is deeper than 5 m, the gradual soil desalinization takes place there along the margin of the spot, while salinity remains in its center.

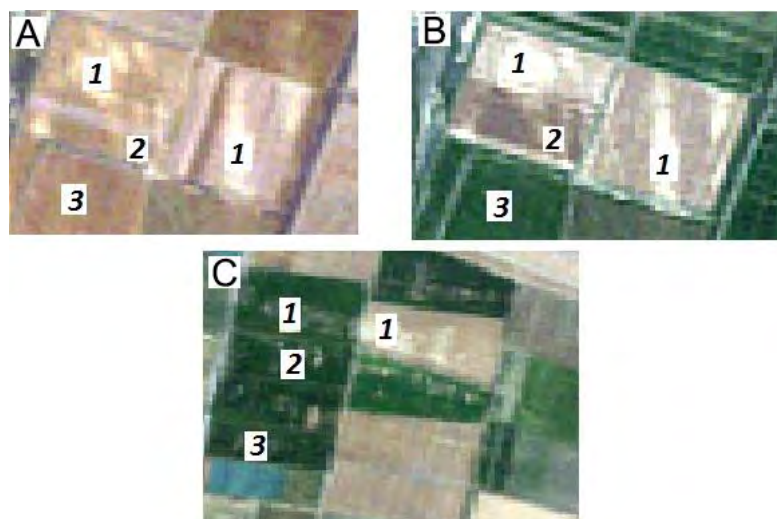


Fig. 13. Parts of the Landsat-8 OLI RGB-images with soils calcimorphic on the surface (0-25 cm) in different natural regions of Svetloyarsk irrigation system (dry steppe of the Volgograd Region). *Legend:* A, B – part of the “Chervlenoye” irrigated territory in the Yergeni Upland (April 2018 – open soil surface, May 1989 – fields with winter cereals), C – part of the irrigated territory in the Caspian Lowland (August 2018 – fields with winter cereals and burclover; Gorokhova, Pankova, 2021), 1 – large patches with $\text{CaCO}_3 > 6\%$, 2 – small patches with $\text{CaCO}_3 = 4-6\%$, 3 – field without any patches, $\text{CaCO}_3 = 0-4\%$.

Soil salinization down to 50-100 cm and deeper is not always seen in satellite images. In this case, it is necessary to use the interpolation method known as Kriging to map it, since all the soils that are saline at a depth of more than 100 cm are potentially dangerous, and therefore, the information about the amount and distribution of their salts is very important.

The interpolation maps of the distribution of the weighted average sum of toxic salts (%) in the 100-200 cm of the Shervlenoye irrigated massif were built in the Surfer-13 program (Fig. 15) using the data for 2017-2018 provided by the Volgograd Hydrogeological and Reclamation Party, and our own field studies for 2017. Down to 100-200 cm the soils of both massifs have horizons of medium and strong salinity level. Only the soils in the southeast of the western massif have a weak or absent salinity 2 m below the surface. In other words, in most of the massif there is a significant amount of easily soluble salts in the 2nd meter of the profile, which can move even higher if the groundwater rises.

Based on the water extract (1: 5), the chemistry of soil salinity in the irrigated lands is predominantly chloride-sulfate, but sometimes can be sulfate and sulfate-chloride.

Thus, the present studies, as well the ones carried out in the 90s in the Svetloyarsk Irrigation System in different natural regions of the dry steppe zone of the Volgograd Region, showed that the heterogeneity of the fields reflected in satellite images can be of a diagnostic nature, but of different origins. The reason for patchiness is related to hydrogeological conditions, soil properties, field layout during the construction of the irrigation systems, and a long-term period of irrigation.

Meanwhile its pattern depends on whether the field is cultivated, has an open surface or turned into a fallow. That is why the interpretation of remote data requires mandatory studies of the current situation in the chosen region and substantiating the causes of patchiness on the basis of field and laboratory researches.

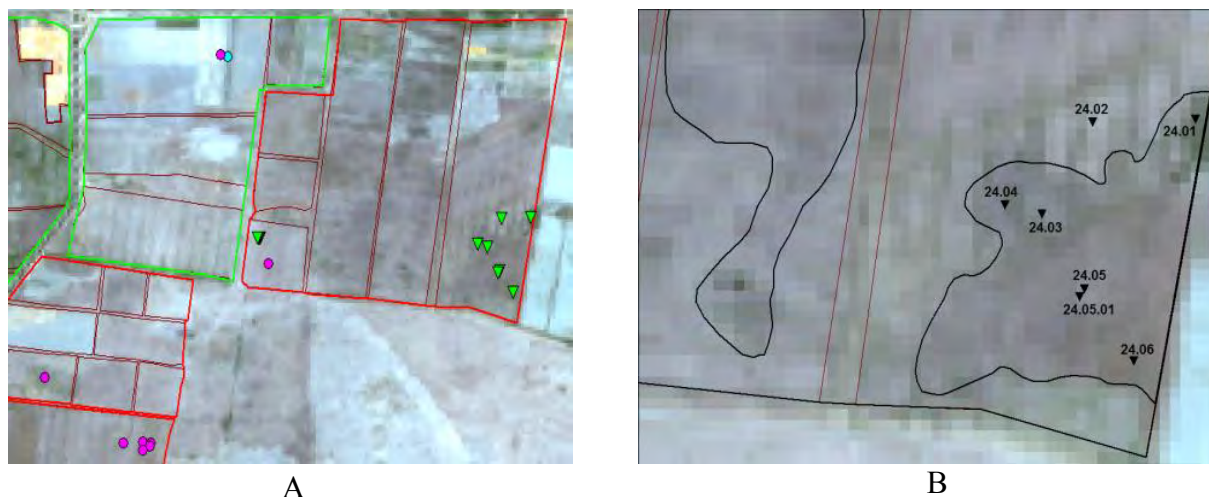


Fig. 14. Raygorod irrigated territory with a perennial fallow land (A) on a Landsat-8 image obtained on 19/06/2015 (groundwater level > 5 m), and foci of the former secondary soil salinization (B) that look like large dark spots due to the sagging surface caused by the lack of secondary planning and by the intense growth of weeds after a precipitation accumulation. Currently, the soils in this undergo a gradual desalination on the edge of the patch, while remaining weakly and averagely saline in its center (Gorokhova, Pankova, 2017).

1.4. Field Work

The purpose of field work is to study the current state of the soil cover, confirm the connection between the satellite image and the actual soils, and also answer the questions that might have arisen when a preliminary map was compiled based on satellite images.

Using the preliminary map, the field work is carried out according to the plan outlined in the pre-field period. Reconnaissance routes are required to make the reference soil profiles in order to assess soils properties of various landscapes. On the routes the locations for more detailed key and profile studies are determined as well, the purpose of which is to confirm the close relationship between the satellite image and the actual soils, and to clarify the data obtained after interpreting the image. The profiles and sampling points must be linked with the help of satellite navigators. Within the mapped area, their number should approximately correspond to the approved standards, such as 1-1.5 profiles per 1 km² of soil survey at a scale of 1: 50,000, 2-3 profiles at a scale of 1: 25,000, and 6-7 profiles at a scale of 1: 10,000 (Table 3).

The studies provide creation of transects, i.e. the soil-geomorphological profiles that would cover all points of the current landscape. Based on these materials, the list of soils, soil complexes, soil-forming and underlying rocks are specified on the preliminary maps.

The key studies are carried out to classify soil heterogeneities and identify landscape-indicative relationships. It is necessary to cover the main types of photographic image on a satellite image. The key sites should be placed taking into account the agricultural use of the chosen territory, because it will help to analyze the relationship between soil heterogeneity and crop diversity (Sorokina, 2006).

During the field work, such sampling points as main profiles, test pits and boreholes are used.

The main profiles should be made at the most typical relief points to study the general soil profile, opening the access to all genetic soil horizons and the upper part of the parent rock. Their depth should be from 1.5 to 2.5 m.

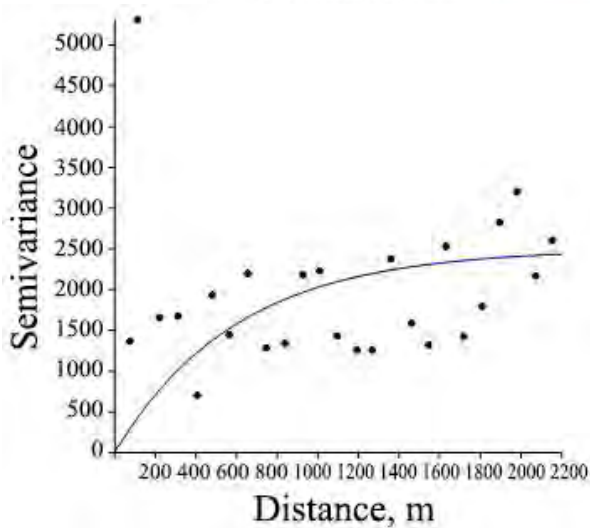
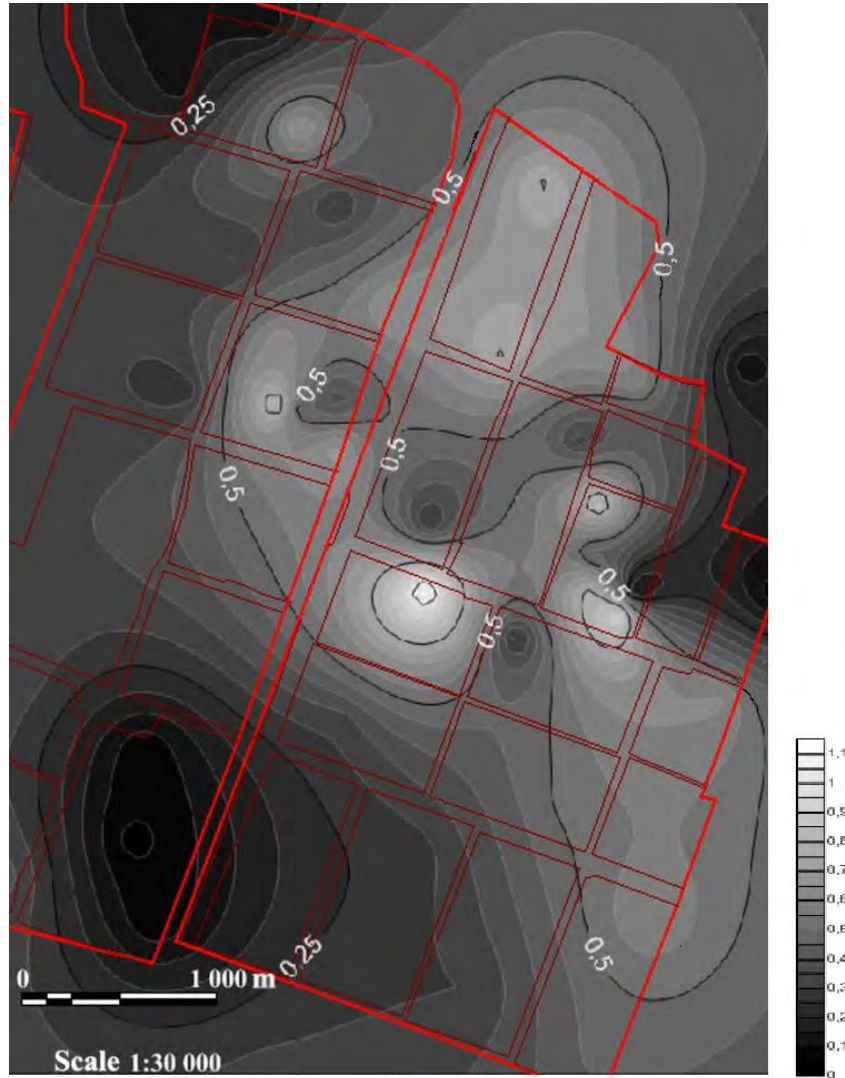


Fig. 15. Variogram and map of the spatial distribution for the concentration of the weighted mean sum of toxic salts (S_{tox} , %) in a layer of 100-200 cm depth (Gorokhova et al., 2020).

Table 3. Number of main soil profiles for the soil survey (Instructions on soil surveys ..., 1975).

Scale	Soil complexity category*			1 profile per area, ha	1 profile per area, ha**
	1	2	3		
	Number of soil profiles per 1 km**				
1:200,000	0.08	0.11	0.15	1250-670	–
1:100,000	0.2	0.25	0.33	500-300	200
1:50,000	0.75	0.90	1.20	134-83	50
1:25,000	1.5	2.0	2.5	66-40	12.5
1:10,000	3.0	5.6	6.7	33-14	2
1:5,000	8.0	12.0	15.0	12-7	0.5
1:2,000	20.0	25.0	35.0	5-3	–

Notes to Table 3: * – complexity is defined by the participation percentage of heterogeneous components in the soil (category 1 – 15%, category 2 – 15-30%, category 3 – more than 30%), ** – the number of profiles is given according to “Soil Survey Investigation for Irrigation” (1979).

Test pits are laid to clarify the boundaries of the distribution of soil heterogeneities and to determine the variability of their properties, such as thickness of the humus horizon and depth of the salt, solonetz, carbonate and gypsum horizons. They are also used to identify the share of soil cover components in an inhomogeneous contour, and to interpret a photographic image by matching the test pits to different spots on a satellite image. Their depth on various soils ranges from 0.4 to 0.75 m.

The boreholes serve the same purpose as the test pits, helping to characterize soil-forming and underlying rocks, as well as to establish the groundwater level.

During the field work soil samples are collected to characterize the soil and its salinity. To assess soil salinity, samples should be taken from each profile along the genetic horizons down to 1-2 m; below, in the 50-centimeter-deep layers, the mixed samples are taken. The lithological heterogeneity of parent and underlying rocks must be considered when sampling to avoid mixing of different layers.

For a more detailed analytical characterization of soil properties, samples are taken from the basic profiles (~10-15% of the total number of profiles) to determine the content of humus, carbonates, gypsum and exchange cations. The particle size analysis is selective, taking into account its variability along the profile and within the mapped area. In the reference sections, groundwater should be sampled for further analysis.

The field stage of the study can be considered complete after the compilation of 1) a map of the actual material that reflects the entire volume of field researches, 2) a field soil map, 3) an application for the analytical work.

A complete chemical analysis of the content and composition of salts should be carried out for some (about 20%) profiles. Salinity of the rest of the samples can be estimated using the reduced water extract: the content of Na for soils with predominantly sulfate salinization, and Cl for soils with predominantly chloride salinity (Soil Salinization in Russia, 2006).

1.5. Processing the Results of Field and Laboratory Research, Finishing the Mapping

After finishing the field work and collecting results of chemical analyzes, a series of vector map layers is created to reflect the obtained data on land use, soil cover and properties at the time of the study. Then the final legend for each layer of the map is made and the calculations of areas are carried out. Then a soil report is made. Thus, at the final stage, the map is corrected based on field

work, laboratory analyzes and final processing of the satellite image.

At the final stage of processing a multi-zonal image, a Supervised Classification is carried out, with software recognition of objects using training samples.

There are several methods of supervised classification, but all of them include the following steps:

- 1) Determining the classes of objects that will be selected as a result of the procedure (determined by a user);
- 2) Creating a training sample for each class of objects (created by a user);
- 3) Calculating the parameters of the “spectral image” for the classes that was formed on the basis of reference pixels from training samples;
- 4) Viewing the entire image and assigning each pixel to a certain class.

Supervised classification is performed only if each class has reference samples that are based on field work. There are many methods of trained classification, among which 3 are the most widespread:

1. Classification by the Minimum Distance: assigning a pixel to a reference class with the minimal Euclidean distance to its center in the feature space. This method is suitable for cases with limited number of classes.

2. Box Classifier is based on a statistical approach: assigning pixels to reference classes, the characteristics of which are the intervals of brightness. They are selected after analyzing a histogram of brightness distribution in the image. This method bears proper results if the spectral characteristics of objects do not intersect in the feature space.

3. The Maximum Likelihood is based on the statistical approach as well: determining the probability of a pixel falling into a particular class. This method is usually used when the spectral characteristics of object do not differ too much, a common occurrence when determining soils and plant communities.

There is also a Mahalanobis Distance method that uses statistics for each class, minimum distance, spectral angle, binary encoding, neural network classification, decision tree, and object-oriented classification (Chandra, Ghosh, 2008; Shovenberg, 2013; ENVI User Manual ..., 2014). We cannot claim that one classifier is better than another since their performance is highly dependent on the source data (i.e. image).

The formation of a training sample for image processing is highly important, because the accuracy of classification depends on its quality. The quality of the training sample is evaluated by the following categories:

- representativeness of the set of brightness values in the sample, determined by the accuracy of reference to a certain class;
- homogeneity, i.e. absence of brightness values that are uncharacteristic for the class; it is estimated by the standard deviation of the brightness from the average value;
- distinguishability, i.e. noticeable difference in the spectral brightness of each class and minimal overlap of class ranges, using such parameters as, for example, Jeffries–Matusita distance (Knizhnikov, 2011; Shovenberg, 2013).

For a satisfying accuracy of image classification it is better to carry out separate processing (classification) for different categories. Such territories as villages and roads, i.e. those that are not subject to analysis, should be preliminarily excluded using masking.

Training samples can be based on brightness (spectral brightness values, NDVI), their statistical parameters and models that are used in different channels (Rouse et al., 1973; VEGA-PRO, 2022).

The map of irrigated lands, created using the image classification, should reflect the structure of the soil cover and help researchers to calculate automatically the areas of irrigated lands and the share of each component of the soil cover in the fields.

The work results in a final GIS of the study area, which includes the following cartographic, attributive and textual information.

1. Cartographic Information:

- 1.1. High and ultra-high resolution images for the study period;
- 1.2. If possible, images for different years before the study period;
- 1.3. Map of the actual material;
- 1.4. Map of land use;
- 1.5. Map of soils.

2. Attribute Information:

- 2.1. Descriptions of soil profiles (appended to the Map of the actual material);
- 2.2. Data of chemical analyzes (appended to the Map of the actual material);

3. Textual Information (explanatory note to the maps):

- 3.1. Physical and geographical conditions of the study area;
- 3.2. Characteristics of available cartographic materials and images;
- 3.3. Description of the method and image classification results in the image;
- 3.4. Description of the groundwater depth and mineralization, degree of salinity and salts composition; the upper boundary of the gypsum and calcareous horizons, content of gypsum and carbonates (in %) in the layers of different soil types; the depth and degree of salinity, and chemistry of soil salinity in the study area.

As an example, we provide the interpretation of the Pleiades ultra-high-resolution multispectral satellite image (20/05/2015) taken in the Svetloyarsk irrigated massif, where we used training samples based on our field work. The samples covered parts of burclover fields, both in good condition and with absence of vegetation, as well as fields with winter wheat growing in spots and depressions, but always at sampling points.

The quality of the created training samples was determined according to the following criteria (Knizhnikov et al., 2011):

1) Representativeness of the set of brightness values in the sample, for which each class was represented by several (3-5) reference areas;

2) Homogeneity, i.e. absence of brightness values that are uncharacteristic for the class, estimated by the standard deviation of the brightness from the average value; for this each soil type with a different brightness in the fields due to a harvest or overgrowing weeds, was represented by several samples, combined at the post-classification stage of image processing into 1 class; the standard deviation (%) of the average brightness, calculated for all classes in 4 channels, varied acceptably from 2.7% to 16.0%;

3) Distinguishability, i.e. noticeable difference in the spectral brightness of each class and minimal overlap of class ranges; for this we used the Jeffries–Matusita distance and the transformed divergence, the values of which should never exceed 1.7 and should tend to 2; in our samples both parameters varied within 1.76-2.0.

To classify the image we used an automatic spectral angle mapper that considered all pixels, including training samples, as vectors in the spectral feature space. For each class the maximum allowable spectral angle was specified, i.e. the angle between the reference vector and the pixel vector that is being classified. If the spectral angle is less than the maximum, then the pixel belongs to this class; if it is higher, then it does not belong to the class. The spectral angle method is fitting to classify objects with similar brightness in all spectral ranges (Schovengerdt, 2013).

After classification and generalization, we carried out the vectorization of the image contours; the results are presented in Figure 16.

1.6. Checking and Evaluating Map Accuracy

The accuracy of the map can be checked and evaluated either by comparing it with the maps of the same/larger scale that were compiled based on field observations, or by evaluating the accuracy

of the image classification.

The classification reliability is assessed visually to find severe mistakes and inconsistencies. Then the quantification is carried out by comparing the classification results with test areas, such as ground-based observations, maps and large-scale images. If the classification results are not satisfying enough, the training sample can be refined, for example, by dividing large classes into smaller ones, and then the process is repeated.

Next, the classification accuracy is analyzed using a confusion matrix, with calculated overall accuracy, kappa coefficient (Cohen's kappa), omission and commission errors, user accuracy and producer accuracy.

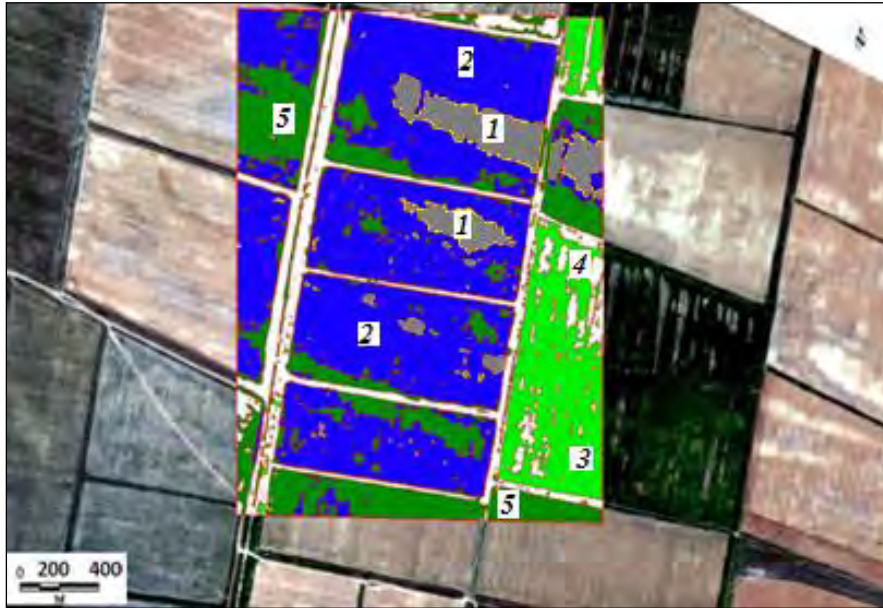


Fig. 16. Fragment of a soil map for the Svetloyarsk irrigated area (inner rectangle) with the background of an ultra-high resolution Pliedas image obtained on 20/05/2015 (Gorokhova et al., 2018). *Legend:* 1 – light chestnut calcareous (surface effervescence) deeply alkaline soils under winter cereals, 2 – light chestnut calcareous (effervescence starts at 15-20 cm) deeply alkaline soils under winter cereals, 3 – light chestnut calcareous (effervescence starts at 15-20 cm) deeply alkaline soils under burclover, 4 – light chestnut calcareous (surface effervescence) under scarce burclover, 5 – meadow-chestnut (black earth) soils of gorges and round depressions.

The confusion matrix is a square matrix with its number of rows and columns equal to the number of classes. Its diagonal elements show the values that are equal to the number of correctly classified pixels in each class. The sum of the values in the diagonal elements shows the total number of correctly classified pixels, while the ratio of this number to the total number of pixels in the matrix is called the overall classification accuracy.

To assess the overall reliability of the classification, the kappa coefficient is used that can be calculated by the following formula:

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^n x_{ij} - \sum_{i=1}^y x_{i+} \cdot x_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r x_{i+} \cdot x_{+i}}$$

where x_{ij} is the diagonal elements of the error matrix; x_{i+} is the sum of pixels along the i row; x_{+i} is the sum of pixels in a column; N is the total number of pixels in the matrix; n is the number of classes.

If kappa is ≤ 0.5 , then the results of the overall classification are not satisfactory.

Omission error is the number of pixels that were not included in this class by mistake.

Commission error is the number of pixels that were mistakenly assigned to this class.

Producer accuracy is the percentage of pixels from a certain class that were correctly classified. It is calculated by dividing each diagonal element of the confusion matrix by the total number of pixels in the corresponding column. This parameter helps to evaluate the match accuracy between the classification results for a certain class and the test data.

A similar parameter that is called user accuracy is calculated for an actual class by dividing the number of correctly classified pixels by the total number of its pixels, according to the data being tested (i.e. the total number of pixels in the corresponding rows of the matrix). It shows the probability of pixels of a class (checked image) falling into the corresponding class (test image).

To carry out this analysis, it is necessary to turn the ground-based data and maps or training samples that were created during the field work into a classified image. Then, the said image should be compared with the classified image of the samples (ENVI User Manual ..., 2014).

Transformation of ground-based data into a classified image and calculation of the confusion matrix parameters can be performed in any program for high-level image processing.

Our experience shows that classification reliability of 90-95% can be achieved for 2 or 3 classes. The results are considered satisfactory, if 70-85% of the classified objects are correctly identified (Labutina, Baldina, 2011).

Conclusions

1. Irrigated soils have always been a difficult object of mapping whenever it is carried out by traditional and remote methods. The reason for that is the high anthropogenic deformation of the soil cover and changes in the natural factors of soil formation due to field planning, long-term irrigation and hydrogeological regime.

2. Crops growing in different hydrogeological conditions react differently to those limiting factors. Therefore, when compiling a map it is recommended to adhere to such stages as 1) making a land use map with marked fields with different crops and fallow lands, 2) highlighting patches in the images with sparse or absent crops, 3) on the basis of field researches and analyzed soil samples, studying the modern soil cover, the morphology and nature of the soil visualization on the images, and establishing the cause of the patchiness, 4) selecting an algorithm for processing satellite images classification based on the results of field researches and add map legends, 5) using an automated method of point data interpolation and the field research data, making a salt map for deeply saline soils.

3. It should be remembered that the deciphering signs of the current state of irrigated soils and their salinity cannot be extrapolated to map similar regions, because natural relationships in irrigated soils are significantly disrupted, the impact of anthropogenic factors is too high, and in each specific case an individual approach to mapping is required, based on the relationship between the image showing the soils and the actual soil cover.

4. The patchiness of irrigated fields, seen on satellite images, can be of different origin, and therefore the interpretation of those images requires a mandatory study of the area and substantiation of the causes of patchiness on the basis of field work and analyzed soil samples.

5. The carbonate patchiness of the surface horizon (0-25 cm) does not depend on the groundwater level and is best seen on satellite images with an open soil surface.

6. The patchiness due to the secondary and residual salinization is determined by the state of vegetation; therefore, the pictures should be taken during the period of high vegetative activity of plants. Information about the groundwater level is also required, since its critical level is the main cause of secondary soil salinization.

7. The accuracy of the map is checked and assessed by a visual comparison with other maps of a larger scale that were compiled according to field observations, and by assessing the accuracy of the image classification. The reliability of the classification is determined using the overall accuracy

matrix, kappa coefficient, omission and commission errors, user accuracy and producer accuracy. If the classification is unsatisfactory, then it is necessary to refine the training sample and repeat the process.

Funding. This work was carried out for the State Assignment No. 0439-2022-0009 “To Study the Transformation, Evolution and Degradation of the Soil Cover of Agricultural Landscapes at Different Organizational Levels, Including Intra-field Heterogeneity Using a Combination of Ground Surveys and Digital Technologies”.

REFERENCES

1. Aldoshin SS, Gorbacheva EN, Myshlyakov SG, Skachkova AS. Space monitoring of agricultural land use in the Kaluga region [Kosmicheskii monitoring sel'skokhozyaystvennogo zemlepol'zovaniya Kaluzhskoy oblasti] *Geoprofi.* 2015;4:10-14.
2. Antipov-Karataev IN. Reclamation of solonchaks in the USSR [*Melioratsiya solontsov v SSSR*]. Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1953:563.
3. Arinushkina EV. Guide to the chemical analysis of soils [*Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv*]. Moscow: Izd-vo MGU, 1970:387-421.
4. Baranovskaya AV, Azovtsev VI. Effect of irrigation on the migration of carbonates in the soils of the Volga region [Vliyaniye orosheniya na migratsiyu karbonatov v pochvakh Povolzh'ya] *Eurasian Soil Science [Pochvovedeniye]*. 1981;10:17-26.
5. VEGA-PRO. Satellite service for vegetation analysis [*Sputnikovyy servis analiza vegetatsii*]. 2022, Available at <http://pro-vega.ru/> (Date of Access 03/02/2023).
6. Gorokhova IN, Pankova EI. The nature of the patchiness of irrigated soils in the dry steppe zone (on example of the Svetloyarskaya irrigation system). *Arid Ecosystems.* 2017;7 (3):161-170.
7. Gorohova IN, Pankova EI, Kharlanov VA. Changes in the ameliorative state of irrigated soils in the Volgograd region in the 21st century [Izmeneniya meliorativnogo sostoyaniya oroshayemykh pochv Volgogradskoy oblasti v XXI veke] *Eurasian Soil Science [Pochvovedeniye]*. 2019;3:1-18.
8. Gorokhova IN, Pankova EI, Chursin IN. Development of Methodological Approaches for the Assessment of the Status of Irrigated Lands in the South of the European Part of

REFERENCES

1. Алдошин С.С., Горбачева Е.Н., Мышляков С.Г., Скачкова А.С. 2015. Космический мониторинг сельскохозяйственного землепользования Калужской области // *Геопрофи.* № 4. С. 10-14.
2. Антипов-Каратаев И.Н. 1953. Мелиорация солонцов в СССР. М.: Изд-во АН СССР. 563 с.
3. Аринушкина Е.В. 1970. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ. С. 387-421.
4. Барановская А.В., Азовцев В.И. 1981. Влияние орошения на миграцию карбонатов в почвах Поволжья // *Почвоведение.* № 10. С. 17-26.
5. ВЕГА-ПРО. 2022. Спутниковый сервис анализа вегетации [Электронный ресурс <http://pro-vega.ru/> (дата обращения 03.02.2023)].
6. Горохова И.Н., Панкова Е.И. 2017. Природа пятнистости орошаемых почв сухостепной зоны (на примере Светлоярской оросительной системы) // *Аридные экосистемы.* Т. 23. № 3 (72). С. 44-54. [Gorokhova I.N., Pankova E.I. 2017. The nature of the patchiness of irrigated soils in the dry steppe zone (on example of the Svetloyarskaya irrigation system) // *Arid Ecosystems.* Vol. 7. No. 3. P. 161-170.]
7. Горохова И.Н., Панкова Е.И., Харланов В.А. 2019. Изменения мелиоративного состояния орошаемых почв Волгоградской области в XXI веке // *Почвоведение.*

- Russia Based on Space-Surveying Materials. *Arid Ecosystems*. 2020;10 (1):70-78.
9. Gorokhova IN, Khitrov NB, Prokopyeva KO, Kharlanov VA. Soil cover of the Svetloyarsk irrigation system after half a century of reclamation impacts [Pochvennyy pokrov Svetloyarskoy orositel'noy sistemy cherez polveka meliorativnykh vozdeystviy] *Eurasian Soil Science [Pochvovedeniye]*. 2018;8:1-18.
 10. Gorokhova IN, Chursin IN, Khitrov NB, Pankova Ye.I. Agricultural Lands Identification on the Satellite Imagery. *Ecosystems: Ecology and Dynamics*. 2021;5 (3):34-59.
 11. Degtyareva ET, Zhulidova AI. Soils of the Volgograd region [Pochvy Volgogradskoy oblasti]. Volgograd: Nizhne-Volzhskoye izd-vo, 1970:319.
 12. Report on the state and use of agricultural land of the Russian Federation in 2020 [Doklad o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' sel'skokhozyaystvennogo znacheniya Rossiyskoy Federatsii v 2020 g.]. Moscow: FGBNU "Rosinformagrotekh", 2022:384.
 13. Doskach AG. Natural zoning of the Caspian semi-desert [Prirodnoye rayonirovaniye Prikaspiyskoy polupustyni]. Moscow: Nauka, 1979:142.
 14. Soil salinization in Russia [Zasoleniye pochvy Rossii]. Moscow: IKTS "Akademkniga", 2006:854.
 15. Zimovets BA. Ecology and melioration of soils in the dry steppe zone [Ekologiya i melioratsiya pochv sukhostepnoy zony]. Moscow: Pochvennyy institut im. V.V. Dokuchayeva, 1991:248.
 16. Ivanova EI. Essay on the soils of the southern part of the Sub-Ural plateau and adjacent areas of the Caspian lowland [Ocherk pochv yuzhnoy chasti Podural'skogo plato i prilegayushchikh rayonov Prikaspiyskoy nizmennosti]. Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1928:320.
 17. Ivanova EN, Fridland VM. Soil complexes of dry steppes and their evolution [Pochvennyye komplekсы sukhih stepey i ikh evolyutsiya] *Issues of improving the food base in the steppe, semi-desert and desert zones of the USSR [Voprosy uluchsheniya kormovoy bazy v stepnoy, polupustynnoy i pustynnoy zonakh SSSR]*. Moscow-Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1954:162-190.
 - № 3. С. 1-18.
 8. Gorokhova I.N., Pankova E.I., Chursin I.N. 2020. Методические подходы к разработке мониторинга орошаемых земель юга Европейской части России на основе материалов космической съемки // Аридные экосистемы. Т. 26. № 1 (82). С. 84-93. [Gorokhova I.N., Pankova E.I., Chursin I.N. 2020. Development of Methodological Approaches for the Assessment of the Status of Irrigated Lands in the South of the European Part of Russia Based on Space-Surveying Materials // *Arid Ecosystems*. Vol. 10. No. 1. P. 70-78.]
 9. Gorokhova I.N., Khitrov N.B., Prokopyeva K.O., Kharlanov V.A. 2018. Почвенный покров Светлоярской оросительной системы через полвека мелиоративных воздействий // Почвоведение. № 8. С. 1-18.
 10. Gorokhova I.N., Chursin I.N., Khitrov N.B., Pankova E.I. 2021. Распознавание сельскохозяйственных угодий по космическим снимкам // Экосистемы: экология и динамика. Т. 5. № 3. С. 5-33. [Gorokhova I.N., Chursin I.N., Khitrov N.B., Pankova Ye.I. 2021. Agricultural Lands Identification on the Satellite Imagery // *Ecosystems: Ecology and Dynamics*. Vol. 5. No. 3. P. 34-59].
 11. Дегтярева Е.Т., Жулидова А.И. 1970. Почвы Волгоградской области. Волгоград: Нижне-Волжское изд-во. 319 с.
 12. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного значения Российской Федерации в 2020 г. 2022. М.: ФГБНУ «Росинформагротех». 384 с.
 13. Доскач А.Г. 1979. Природное районирование Прикаспийской полупустыни. М.: Наука. 142 с.
 14. Засоление почвы России. 2006. М.: ИКЦ «Академкнига». 854 с.
 15. Зимовец Б.А. 1991. Экология и

18. Instructions on soil surveys for reclamation and water management construction [*Instruktsiya po pochvennym izyskaniyam dlya meliorativnogo i vodokhozyaystvennogo stroitel'stva*]. Moscow: Minmeliovodkhoz SSSR, 1975:89.
19. Kanatieva NP. Study of the transformation of arable land in the Northern Volga region according to remote sensing data [*Izucheniye transformatsii pakhotnykh ugodiy Severnogo Privolzh'ya po dannym distantsionnogo zondirovaniya*] *Strategy for Sustainable Development of Russian Regions [Strategiya ustoychivogo razvitiya regionov Rossii]*. 2013:132-137.
20. Knizhnikov YuF, Kravtsova VI, Tutubalina OV. Aerospace methods of geographical research [*Aerokosmicheskiye metody geograficheskikh issledovaniy*]. Moscow: Akademiya, 2011:416.
21. Kovda VA. Solonchaks and solonetztes [*Solonchaki i solontsy*]. Moscow-Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1937:246.
22. Konyushkova MV. Digital mapping of soils of solonetzic complexes of the Northern Caspian [*Tsifrovoye kartografirovaniye pochv solontsovykh kompleksov Severnogo Prikaspiya*]. Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2014:316.
23. Kurbanov EA, Vorobyov ON, Gubaev AV, Vorobyov ON. Using ALOS satellite imagery to identify areas of former agricultural land overgrown with forest [*Ispol'zovaniye kosmicheskikh snimkov ALOS dlya vyyavleniya ploshchadey byvshikh sel'skokhozyaystvennykh ugodiy, zarastayushchikh lesom*] *Geomatika*. 2010;4:68-72.
24. Labutina IA, Baldina EA. Using remote sensing data to monitor protected area ecosystems [*Ispol'zovaniye dannyykh distantsionnogo zondirovaniya dlya monitoringa ekosistem OOPT*] *Guidelines [Metodicheskoye posobiye]*. Moscow: WWF Russia, 2011:88.
25. Lyubimova IN, Degtyareva ET. Changes in the carbonate profile of soils of solonetz complexes under agrogenic impact [*Izmeneniye karbonatnogo profilya pochv solontsovykh kompleksov pri agrogenom vozdeystvii*] *Eurasian Soil Science [Pochvovedeniye]*. 2000;7:855-860.
- мелиорация почв сухостепной зоны. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева. 248 с.
16. Иванова Е.И. 1928. Очерк почв южной части Подуральского плато и прилегающих районов Прикаспийской низменности. Л.: Изд-во АН СССР. 320 с.
17. Иванова Е.И., Фридланд В.М. 1954. Почвенные комплексы сухих степей и их эволюция // Вопросы улучшения кормовой базы в степной, полупустынной и пустынной зонах СССР. М.-Л.: Изд-во АН СССР. С. 162-190.
18. Инструкция по почвенным изысканиям для мелиоративного и водохозяйственного строительства. 1975. М.: Минмелиоводхоз СССР. 89 с.
19. Канатьева Н.П. 2013. Изучение трансформации пахотных угодий Северного Приволжья по данным дистанционного зондирования // Стратегия устойчивого развития регионов России. С. 132-137.
20. Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В. 2011. Аэрокосмические методы географических исследований. М.: Академия. 416 с.
21. Kovda V.A. 1937. Солончаки и солонцы М.-Л.: Изд-во АН СССР. 246 с.
22. Конюшкова М.В. 2014. Цифровое картографирование почв солонцовых комплексов Северного Прикаспия. М.: Товарищество научных изданий КМК. 316 с.
23. Курбанов Э.А., Воробьев О.Н., Губаев А.В., Воробьев О.Н. 2010. Использование космических снимков ALOS для выявления площадей бывших сельскохозяйственных угодий, зарастающих лесом // *Геоматика*. №4. С. 68-72.
24. Лабутина И.А., Балдина Е.А. 2011.

26. Minashina NG. Reclamation of saline soils [*Melioratsiya zasolennykh pochv*]. Moscow: Kolos, 1978:263.
27. Novikova AF, Gepin LO, Konyushkova MV. Dynamics of salinization-desalinization processes in the soils of the "Chervlenoe" site of the Svetloyarsk irrigation system during the irrigation and post-irrigation periods [Dinamika protsessov zasoleniya-rassoleniya pochv uchastka "Chervlenoye" Svetloyarskoy orositel'noy sistemy v irrigatsionny i postirrigatsionny periody] *Bulletin of the V.V. Dokuchaev Soil Institute [Byulleten' pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchayeva]*. Moscow: RASKHN, 2009;63:16-24.
28. Pankova EI, Novikova AF. Ameliorative state and secondary salinization of irrigated lands in the Volgograd region [Meliorativnoye sostoyaniye i vtorichnoye zasoleniye oroshayemykh zemel' Volgogradskoy oblasti] *Eurasian Soil Science [Pochvovedeniye]*. 2004;6:731-744.
29. Field determinant of Russian soils [*Polevoy opredelitel' pochv Rossii*]. Moscow: Pochvennyy institut im. V.V. Dokuchayeva, 2008:182.
30. Prikhodko VE. Irrigated steppe soils: functioning, ecology, productivity [*Oroshayemyye stepnyye pochvy: funktsionirovaniye, ekologiya, produktivnost'*]. Moscow: Intellekt, 1996:179.
31. Rode AA, Polsky MN. Soils of the Dzhanybek station, their morphological structure, mechanical and chemical composition, and physical properties [Pochvy Dzhanybekskogo stacionara, ikh morfologicheskoye stroeniye, mekhanicheskiy i khimicheskiy sostav i fizicheskiye svoystva] *Proceedings of the V.V. Dokuchaev Soil Institute [Trudy Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchayeva]*. 1961;56:3-214.
32. ENVI User Manual 5.1 [*Rukovodstvo pol'zovatelya ENVI 5.1*]. Moscow: Sovzond, 2014:242.
33. Rukhovich DI, Shapovalov DA. On the features of soil and land cover monitoring as an information basis for effective land use [Ob osobennostyakh monitoringa pochvenno-zemel'nogo pokrova kak informatsionnoy osnovy effektivnogo zemlepol'zovaniya] *Land Management, Cadaster and Land* Использование данных дистанционного зондирования для мониторинга экосистем ООПТ. Методическое пособие. М.: WWF России. 88 с.
25. Любимова И.Н., Дегтярева Е.Т. 2000. Изменение карбонатного профиля почв солонцовых комплексов при агрогенном воздействии // Почвоведение. № 7. С. 855-860.
26. Минашина Н.Г. 1978. Мелиорация засоленных почв. М.: Колос. 263 с.
27. Новикова А.Ф., Гэпин Л.О., Конюшкова М.В. 2009. Динамика процессов засоления-рассоления почв участка «Червленое» Светлоярской оросительной системы в ирригационный и постирригационный периоды // Бюллетень почвенного института им. В.В. Докучаева. Вып. 63. М.: РАСХН. С. 16-24.
28. Панкова Е.И., Новикова А.Ф. 2004. Мелиоративное состояние и вторичное засоление орошаемых земель Волгоградской области // Почвоведение. № 6. С. 731-744.
29. Полевой определитель почв России. 2008. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева. 182 с.
30. Приходько В.Е. 1996. Орошаемые степные почвы: функционирование, экология, продуктивность. М.: Интеллект. 179 с.
31. Роде А.А., Польский М.Н. 1961. Почвы Джаныбекского стационара, их морфологическое строение, механический и химический состав и физические свойства // Труды Почвенного института им. В.В. Докучаева. Т. 56. С. 3-214.
32. Руководство пользователя ENVI 5.1. 2014. М.: Совзонд. 242 с.
33. Рухович Д.И., Шаповалов Д.А. 2015. Об особенностях мониторинга почвенно-земельного покрова как информационной основы эффективного землепользования //

- Monitoring [Zemleustroystvo, kadastr i monitoring zemel']*. 2015;12:31-49.
34. Savin IYu, Otarov A, Zhogalev AV, Ibraeva MA, Duysekov S. Identification of long-term changes in the area of saline soils of the Shaulder irrigated massif using Landsat satellite images [Vyyavleniye mnogoletnikh izmeneniy ploshchadi zasolennykh pochv Shaul'derskogo oroshayemogo massiva po kosmicheskim snimkam Landsat] *Bulletin of the V.V. Dokuchaev Soil Institute [Byulleten' pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva]*. 2014;74:49-63.
35. Sizemskaya ML. Modern natural-anthropogenic transformation of soils in the semi-desert of the Northern Caspian Sea [Sovremennaya prirodno-antropogennaya transformatsiya pochv polupustyni Severnogo Prikaspiya]. Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2013:276.
36. Sorokina NP. Methodology for large-scale agri-environmentally oriented mapping [Metodologiya sostavleniya krupnomasshtabnykh agroekologicheskikh oriyehtirovannykh kart]. Moscow: Russian Rossel'khozakademii, 2006:159.
37. Fazylova AG. Study of herbaceous vegetation of even-aged deposits on the example of two sections of the natural-geographical territories of the Republic of Tatarstan [Izucheniye travyanistoy rastitel'nosti odnovozrastnykh zalezhey na primere dvukh uchastkov prirodno-geograficheskikh territoriy respubliki Tatarstan]. Kazan: FGAOUVPO "Kazanskiy (Privolzhskiy) Federal'nyy Universitet", 2014:62.
38. Fridland VM. Light chestnut soils [Svetlo-kashtanovyye pochvy] *Soils of the complex plain of the Northern Caspian region and their reclamation characteristics [Pochvy kompleksnoy ravniny Severnogo Prikaspiya i ikh meliorativnaya kharakteristika]*. Moscow: Nauka, 1964:22-59.
39. Khitrov NB, Ponizovsky AA. Guidelines for laboratory methods for studying the ion-salt composition of neutral and alkaline mineral soils [Rukovodstvo po laboratornym metodam issledovaniya ionno-solevogo sostava neytral'nykh i shchelochnykh mineral'nykh pochv]. Moscow: Pochvennyy institut Zemleustroystvo, kadastr i monitoring zemel'. № 12. С. 31-49.
34. Савин И.Ю., Отаров А., Жогалев А.В., Ибраева М.А., Дуйсеков С. 2014. Выявление многолетних изменений площади засоленных почв Шаульдерского орошаемого массива по космическим снимкам Landsat // Бюллетень почвенного института им. В.В. Докучаева. Вып. 74. С. 49-63.
35. Сиземская М.Л. 2013. Современная природно-антропогенная трансформация почв полупустыни Северного Прикаспия. М.: Товарищество научных изданий КМК. 276 с.
36. Сорокина Н.П. 2006. Методология составления крупномасштабных агроэкологически ориентированных карт. М.: Россельхозакадемия. 159 с.
37. Фазылова А.Г. 2014. Изучение травянистой растительности одновозрастных залежей на примере двух участков природно-географических территорий республики Татарстан. Казань: ФГАОУВПО «Казанский (Приволжский) Федеральный Университет». 62 с.
38. Фридланд В.М. 1964. Светло-каштановые почвы // Почвы комплексной равнины Северного Прикаспия и их мелиоративная характеристика. М.: Наука. С. 22-59.
39. Хитров Н.Б., Понизовский А.А. 1990. Руководство по лабораторным методам исследования ионно-солевого состава нейтральных и щелочных минеральных почв. Почвенный институт им. В.В. Докучаева. 236 с.
40. Чандра А.М., Гош С.К. 2008. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. М.: Техносфера. 312 с.
41. Шовенгердт Р.А. 2013. Дистанционное зондирование.

- im. V.V. Dokuchayeva, 1990:236.
40. Chandra AM, Ghosh SK. Remote sensing and geographic information systems [*Distantionnoye zondirovaniye i geograficheskiye informatsionnyye sistemy*]. Moscow: Tekhnosfera, 2008:312.
 41. Shovengerdt RA. Remote sensing [*Distantionnoye zondirovaniye*] *Models and methods of image processing [Modeli i metody obrabotki izobrazheniy]*. Moscow: Tekhnosfera, 2013:592.
 42. Gorokhova I, Pankova Ye. The nature of the patchiness of the irrigated fields and the possibility of its recognition on space imagery. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;862:012092.
 43. Rouse JW, Haas RH, Schell JA, Deering DW. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *3rd ERTS Symposium, NASA SP-351*. 1973;I:309-317.
 44. Soil survey investigation for irrigation. *FAO Soil Bulletin*. Rome: FAO, 1979;42:188.
42. Gorokhova I., Pankova Ye. 2021. The nature of the patchiness of the irrigated fields and the possibility of its recognition on space imagery // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 862. P. 012092.
 43. Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS // *3rd ERTS Symposium, NASA SP-351*. Vol. I. P. 309-317.
 44. Soil survey investigation for irrigation. 1979 // *FAO Soil Bulletin*. Rome: FAO. Vol. 42. 188 p.

УДК 631.4

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ СУХОСТЕПНОЙ ЗОНЫ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

© 2023 г. И.Н. Горохова, Е.И. Панкова

*Почвенный институт им. В.В. Докучаева
Россия, 119017, г. Москва, Пыжевский пер., стр. 7. E-mail: g-irina14@yandex.ru*

Поступила в редакцию 16.12.2022. После доработки 01.02.2023. Принята к публикации 02.02.2023.

В статье представлены материалы исследований в Волгоградской области, которые могут быть положены в основу методических рекомендаций для картографирования, определения площадей и состояния орошаемых земель с использованием космических снимков. Эти материалы опираются на многолетний опыт, полученный при изучении орошаемых земель в зоне солонцовых комплексов сухой степи. Привлечение материалов космической съемки поможет картографировать и определить: 1) площади орошаемых земель, 2) площади и возраст залежных земель на орошаемых массивах, 3) состояние орошаемых почв и факторы, ограничивающих их плодородие. Сельскохозяйственные культуры в различных гидрогеологических условиях по-разному реагируют на лимитирующие факторы, поэтому при составлении карт рекомендуется придерживаться следующих этапов картографирования: выделять поля с разными культурами и залежью; выявлять наличие пятен с разреженностью или отсутствием сельскохозяйственных культур на снимках; в полевых условиях и на базе проведенных анализов отобранных почвенных образцов устанавливать причину пятен, выявленных по изображению; используя результаты полевых исследований, подбирать алгоритм для обработки космических снимков. Пятнистость орошаемых полей, отраженная на

космических снимках, имеет разную природу, поэтому интерпретация дистанционных материалов требует обязательного изучения особенностей района исследований. Пятнистость, связанная с вторичным и остаточным засолением почв, определяется по состоянию растительности, поэтому важен период проведения космической съемки, отражающий высокую вегетационную активность растений. Необходимы также сведения об уровне грунтовых вод, поскольку их критический уровень является основной причиной возникновения процесса вторичного засоления почв. Для глубокозасоленных почв стоит построить солевую карту с помощью интерполяции точечных данных, полученных в полевых условиях и на основе лабораторных анализов. Пятнистость, связанная с карбонатностью поверхностного горизонта почв, не зависит от уровня грунтовых вод и лучше всего просматривается на космических снимках с открытой поверхностью почв. Проверка и оценка точности карты может проводиться путем сравнения с картами более крупного масштаба и данными полевых наблюдений и путем оценки точности проведенной классификации космического изображения, посредством определения проверочных индексов. Представленные материалы предназначены для широкого круга специалистов, использующих космическую информацию в работе, а также для специалистов (почвоведов, агрономов, агрохимиков), работающих в аграрном секторе южных регионов России.

Ключевые слова: сухостепная зона, орошаемые земли, засоленные почвы, космические снимки, картографирование орошаемых почв.

Финансирование. Работа выполнена по теме государственных заданий № 0439-2022-0009 «Изучить трансформацию, эволюцию и деградацию почвенного покрова агроландшафтов на разных уровнях организации, включая внутривидовую неоднородность с использованием сочетания наземных обследований и цифровых технологий».

DOI: 10.24412/2542-2006-2023-1-38-65

EDN: BLIRXH

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

УДК 631.4

**ВЫДЕЛЕНИЕ КАРБОНАТНЫХ ПОЧВ
НА ВОЛГО-ДОНСКОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ (ВОЛГОГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ)
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ**

© 2023 г. И.Н. Горохова*, И.Н. Чурсин**, Н.Б. Хитров*, Н.К. Круглякова****

**Почвенный институт им. В.В. Докучаева*

Россия, 119017, г. Москва, Пыжевский пер., стр. 7. E-mail: g-irina14@yandex.ru

***Научный геоинформационный центр РАН*

Россия, 119019, г. Москва, а/я 168, ул. Новый Арбат, д. 11. E-mail: chursin.ivan93@gmail.com

****Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия*

Россия, 400002, г. Волгоград, ул. им. Тимирязева, д. 9. E-mail: kruglyakova02032013@yandex.ru

Поступила в редакцию 16.12.2022. После доработки 01.02.2023. Принята к публикации 02.02.2023.

Исследование направлено на обоснование выделения ареалов карбонатных почв с использованием космической информации высокого разрешения (Pleiades) на территории ключевого участка опытной станции «Орошаемая» Волго-Донской оросительной системы, расположенной в Волгоградской области. Проблема с присутствием карбонатов в почвах связана с тем, что они оказывают как положительное, так и отрицательное воздействие на почвы, поэтому выявление таких почв практически важно. Выделение на космических снимках карбонатных пятен проводилось по точкам поверхностного вскипания почв разной степени от раствора HCl, которое выявлялось контактным способом на с/х полях. Далее осуществлялась установка связи между спектральной яркостью в разных каналах космического снимка в точках вскипания и степенью вскипания почв. Для этого с космических изображений делалась выборка из пикселей, соответствовавших точкам вскипания на поверхности почв на местности, которая использовалась при выделении классов на снимке с помощью алгоритма RandomForest. В результате всех проведенных исследований было определено, что для выделения ареалов карбонатных (вскипающих) с поверхности почв по космической информации оптимально проводить полевые измерения и использовать материалы съемки в засушливый сезон года (май-июль). При обработке снимка следует использовать изображение полей с открытой поверхностью почв и не вовлекать территории за пределами сельскохозяйственного освоения. Необходимо также исключать из выборки точки с луговато- и лугово-каштановыми почвами. Они расположены, как правило, в понижениях рельефа и из-за принесенных со стороны карбонатов могут создавать помехи в расчетах. Выделение ареалов карбонатных почв лучше всего проводить в рамках отдельного с/х поля или группы схожих по яркости полей. Разброс яркости с/х полей на космическом снимке возникает из-за разного вида использования земель (богара, орошаемое поле). При таком дифференцированном подходе точность классификации карбонатных почв по степени вскипания (нет, слабое, среднее и сильное) на космическом изображении достигает 0.75-0.90, в то время как при обработке ключевого участка целиком, возможно выделение карбонатных почв только с градацией сильное вскипание или нет вскипания с точностью 0.7. Новизна результатов работы заключается в обосновании возможности достоверного выделения поверхностно-карбонатных почв при совместном использовании материалов космической информации высокого разрешения и данных полевых обследований при условии соблюдения определенных требований.

Ключевые слова: карбонатные почвы, вскипание, степень вскипания почв, открытая поверхность, космические снимки, спектральная яркость, точность классификации, Волгоградская область.

DOI: 10.24412/2542-2006-2023-1-66-91

EDN: SPYWFH

Земельные ресурсы являются основным природным богатством Волгоградской области. По площади сельскохозяйственных угодий (8.7 млн. га) среди субъектов Российской Федерации она находится на третьем месте после Алтайского края и Оренбургской области. Волгоградская область относится к максимально освоенным территориям, где дальнейшее увеличение земель сельскохозяйственного назначения практически невозможно (Волгоградская область ..., 2011). Фактическое наличие основных видов сельскохозяйственных угодий установилось в начале 60-х гг. – после освоения целинных и залежных земель, а также широкого развития орошения, особенно масштабного в сухостепной зоне.

В дореволюционной России новое представление о географии почв степей внесли работы русских ученых Н.А. Димо и Б.А. Келлера (1907), Г.Н. Высоцкого (1915), которые показали пестроту растительного и почвенного покрова, связь почв с микрорельефом. Однако основные закономерности природного состояния почв сухостепной зоны в целинных условиях и на начальных этапах их активного сельскохозяйственного освоения установили советские ученые (Антипов-Каратаев, 1953; Иванова, 1928; Ковда, 1937; Роде, 1947; Иванова, Фридланд, 1954). Результатом обобщения многолетних исследований почв специалистами различных организаций явилась книга Е.Т. Дегтяревой и А.Н. Жулидовой «Почвы Волгоградской области» (1970).

К классическим методам изучения почв с 60-х годов XX в. и по настоящее время активно добавляются такие, как дистанционное зондирование на основе аэро- и космической съемки с привлечением спутниковой информации высокого разрешения (Горохова и др., 2018; Wang F. et al., 2020; Wang J. et al., 2019), информации с беспилотных летательных аппаратов (Tian et al., 2020) и использование определяемых дистанционно таких параметров как индексы растительности, засоления и влажности почв, температуры поверхности, топографии; применение различных моделей расчета и картографирования почв, из которых наиболее востребованы: случайный лес (RF), множественная регрессионная модель (MLR), метод опорных векторов (SVM), искусственные нейронные сети (ANN) (Горохова и др., 2021; Tian et al., 2020; Wang F. et al., 2020; Zarea et al., 2020). Отмечается, что не существует алгоритма, который мог бы идеально работать для всего набора данных, поэтому выбирается тот, который соответствует конкретным целям и подходит для выбранного района исследования. Поэтому интерпретация дистанционных материалов требует обязательного изучения особенностей района исследований на основе полевых работ и лабораторных анализов почвенных образцов (Горохова и др., 2021; Wang F. et al., 2020).

В 50-60-х годах XX века в Волгоградской области были построены крупные оросительные системы. Однако неправильная эксплуатация орошаемых земель вызвали к началу 1990-х годов подъем уровня грунтовых вод, подтопление, возникновение очагов вторичного засоления, осолонцевание почв и др. Как следствие, существенные площади орошаемых земель были заброшены и стали многолетней залежью, другая часть земель была переведена в богарное использование, а на сохранившихся орошаемых участках поменяли тип орошения (преимущественно, с поверхностного на дождевание или капельный). Затем начался период (1990-2010 гг.), который привел к понижению уровня грунтовых вод глубже 5 м и к частичному рассолению и ощелачиванию вторично засоленных почв на орошаемых землях. На этом фоне особенно ярко проявился процесс накопления карбонатов в поверхностном горизонте почв. Поскольку присутствие карбонатов оказывает существенное влияние на свойства почв (как положительное, так и отрицательное) обнаружить и выделить карбонатные пятна на орошаемых полях становится актуальной задачей.

Цель данной статьи – определение карбонатных пятен поверхностного вскипания почв на полях ключевого участка «Орошаемый» с привлечением космических снимков.

Материалы и методы исследований

Объект изучения – Волго-Донская оросительная система (ОС), расположенная западнее г. Волгограда в сухостепной зоне Волгоградской области, на юге Приволжской возвышенности, спускающейся к Волго-Донскому каналу. Наши исследования проводились в границах занимающего центральную часть Волго-Донской ОС ФГБУ Опытная Станция «Орошаемая» (далее – опытная станция «Орошаемая»; рис. 1 А, Б).

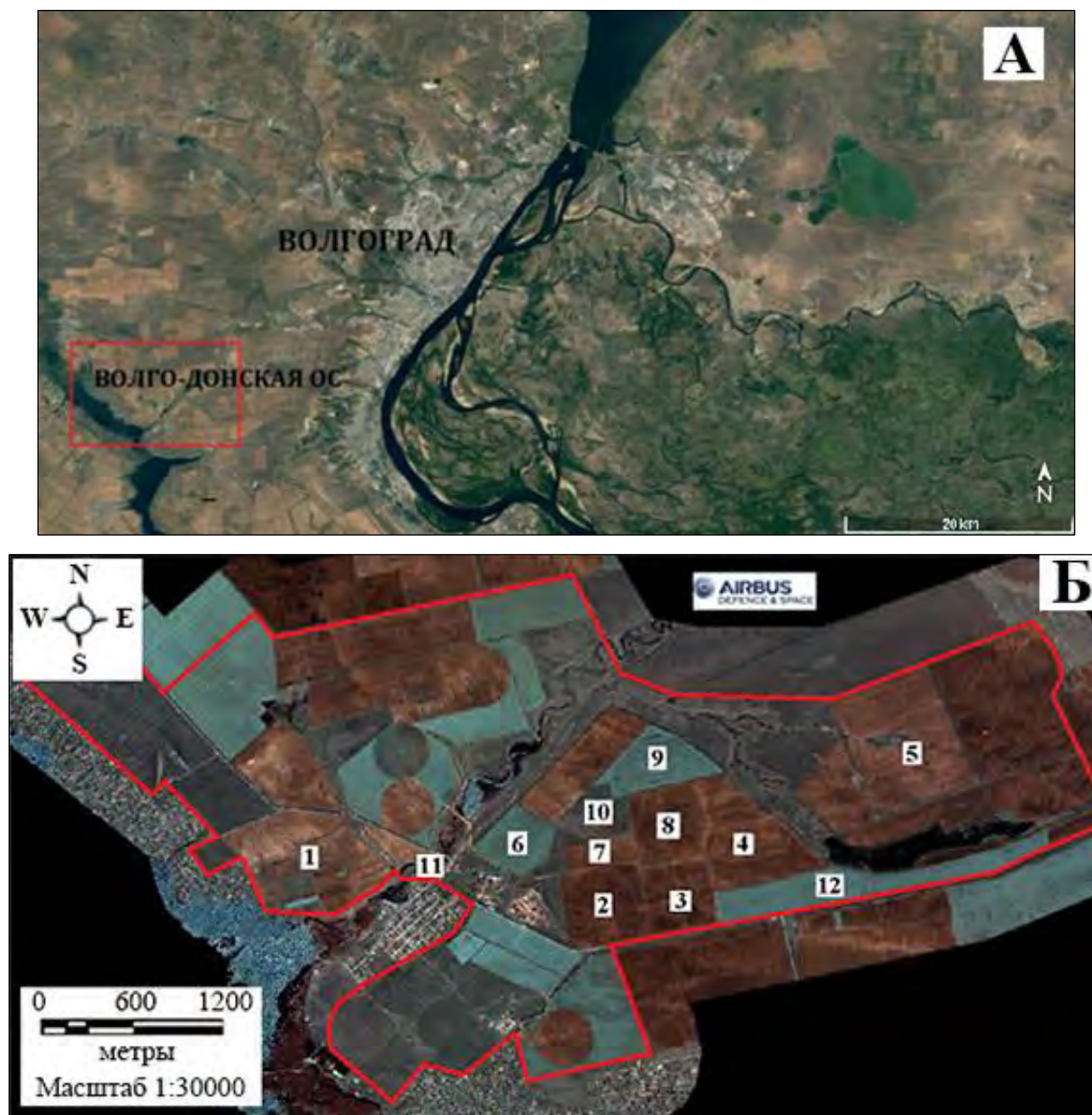


Рис. 1. А – расположение Волго-Донской оросительной системы на космическом снимке с портала Google.Earth, 25.05.2021, Б – территория и поля на ключевом участке опытной станции «Орошаемая» в Волгоградской области со спутника Pleiades, 25.04.2020.

Fig. 1. А – Volga-Don irrigation system on a Google.Earth satellite image, 25/05/2021, Б – territory and fields of the key plot of the “Oroshayemaya” experimental station in the Volgograd Region, taken from the Pleiades satellite, 25/04/2020.

Опытная станция «Орошаемая» располагается на юге Приволжской возвышенности, вытянутой вдоль правого берега Волги. Эта территория представляет собой плато, расчлененное многочисленными речными долинами, оврагами и балками. Она имеет слабовыпуклую форму и очень постепенно опускается к бровкам долин. К югу от г. Волгограда Приволжская возвышенность переходит в возвышенность Ергени. Формирование рельефа Приволжской возвышенности происходило под воздействием интенсивного проявления новейших тектонических поднятий и эрозионных процессов.

Эта часть Приволжской возвышенности в плиоцене была полностью перекрыта «ергенинскими» отложениями, представленными песками с прослоями и линзами глин и песчаника, а затем в конце плиоцена и в четвертичном периоде они подверглись денудации. К настоящему времени здесь сохранился покров ергенинских осадков мощностью до 30-40 м и не утрачены черты плиоценовой аккумуляции. Приводораздельные участки сложены ергенинскими песками. Они перекрыты красно-бурыми скифскими глинами неопределенного генезиса и возраста (верхнеэоценовый, нижнечетвертичный), мощностью 3-50 м и толщей четвертичных лёссовидных суглинков, местами достигающей 50-70 м. Грунтовые воды залегают глубоко, как правило, они имеют низкую минерализацию и гидрокарбонатно-натриевый состав (Волгоградская область ..., 2011).

Юг Приволжской возвышенности относится к подзоне каштановых почв. Почвообразующие породы отличаются значительным разнообразием, что приводит к вариативности строения профиля почв и их свойств. Основными почвообразующими породами являются ергенинские пески, лёссовидные суглинки, местами красно-бурые скифские глины. Почвенный покров представлен почвенными комбинациями, включающими каштановые несолонцеватые почвы на приводораздельных пространствах, солонцовые комплексы с разным долевым участием каштановых почв и солонцов, собственно солонцы автоморфные, полугидроморфные и гидроморфные; сочетания и пятнистости лугово-каштановых, луговых почв разной степени засоления и солонцеватости; аллювиальные почвы в долинах рек (Дегтярева, Жулидова, 1970; Зинченко и др., 2020).

Орошение на опытной станции производится водой из Береславского и Варваровского водохранилищ, которые входят в систему Волго-Донского судоходного канала имени В.И. Ленина (Водохранилища, пруды и озера ..., 2020). В условиях субаридного климата высокий расход воды на испарение с поверхности водоемов способствует повышению минерализации воды в них (табл. 1).

Прогнозное содержание обменного натрия в почве при поливе водами с указанными в таблице 1 значениями без учета концентрирования вод в почве составляют 5.1 и 4.4 % от емкости катионного обмена (ЕКО). Постоянное орошение слабоминерализованными водами из водохранилища с повышенной концентрацией ионов натрия в реальных условиях способствует усилению развития процесса вторичного осолонцевания почв, которое оценивается по содержанию обменного натрия в ЕКО более 5% (рис. 2).

Качество поливной воды и используемая дождевальная техника в сочетании с мезорельефом территории предопределили развитие таких деградационных процессов в орошаемых почвах, как вторичное осолонцевание, образование техногенной глыбистости, ирригационной эрозии, а также окарбоначивание поверхностных горизонтов. При этом вторичное осолонцевание, стимулируя развитие ирригационной эрозии, приводит к периодической припашке нижележащих карбонатных горизонтов и образованию дополнительной пятнистости поля по содержанию карбонатов в пахотном слое. Все это в комплексе приводит к возникновению неоднородности рисунка поверхности почвенного покрова на материалах дистанционного зондирования.

Таблица 1. Химический состав вод Береславского (1) и Варваровского (2) водохранилищ Волго-Донского канала, используемых для орошения (август 2020 г.). **Table 1.** Chemical composition of the water from the Bereslavsky (1) and Varvarovsky (2) irrigation reservoirs of the Volga-Don Canal, August 2020.

Водохранилище	pH	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	M, г/л	SAR
		ММОЛЬ(ЭКВ)/Л								
1	8.1	3.6	4.4	6.1	4.8	2.5	7.0	0.11	0.95	3.7
2	8.2	2.7	3.9	5.9	5.0	1.8	6.0	0.12	0.84	3.2

Примечания к таблице 1: M – минерализация воды, SAR – натриевое адсорбционное отношение, оценивает опасность осолонцевания, $SAR = \frac{C_{Na}}{\sqrt{\frac{(C_{Ca} + C_{Mg})}{2}}}$, где C_{Na} , C_{Ca} , C_{Mg} – концентрация ионов Na⁺, Ca²⁺ и Mg²⁺, ммоль(экв)/л (Richards, 1954). **Notes to Table 1:** M – water mineralization, SAR – sodium adsorption ratio that estimates the alkalization risks, C_{Na} , C_{Ca} , C_{Mg} – concentration of Na⁺, Ca²⁺ and Mg²⁺ ions, mmol(equiv)/L (Richards, 1954).

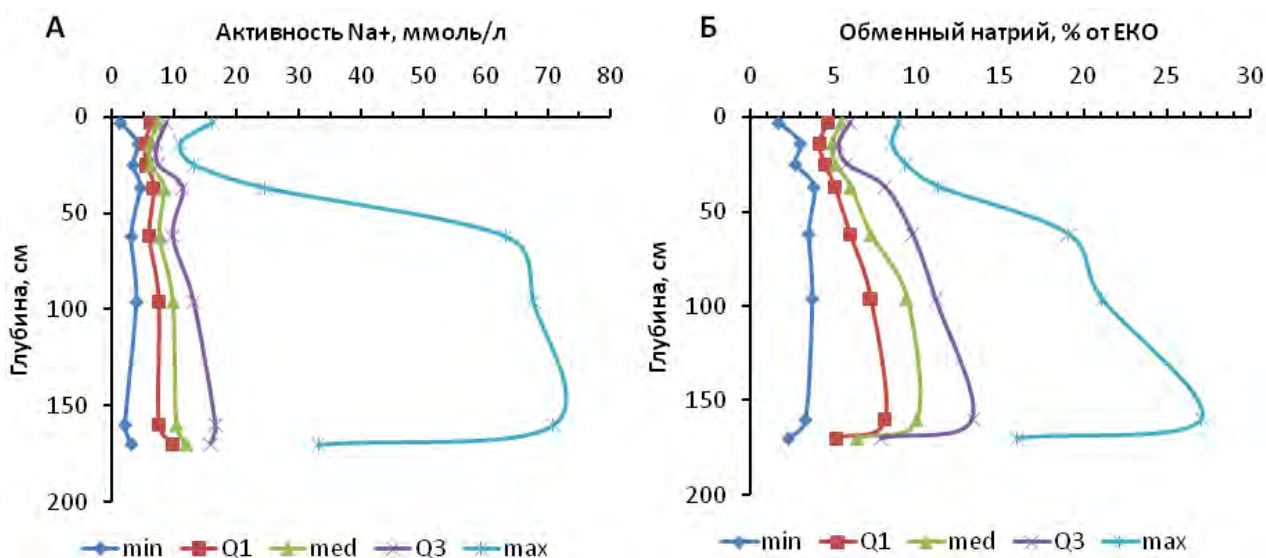


Рис. 2. Распределение непараметрических статистических показателей в почвенном профиле: А – активность ионов Na⁺ в пастах с влажностью 40% (мас.) и Б – обменный натрий. *Условные обозначения:* min – минимум, med – медиана, max – максимум, Q1 и Q3 – нижний и верхний квартили. Объем выборки – 40 почвенных разрезов. **Fig. 2.** Distribution of non-parametric statistical indices in a soil profile: А – activity of Na⁺ ions in pastes with a moisture content of 40% (wt.), Б – exchangeable sodium. *Legend:* min – minimum, med – median, max – maximum, Q1 and Q3 – lower and upper quartiles; sample size is 40 profiles.

Основные положения методики

Исследуемый ключевой участок – территория опытной станции «Орошаемая», которая состоит из нескольких полей. Всего обследовано 12 полей (рис. 1 Б, поля № 1-12), на которых точки опробования на вскипание и основные почвенные разрезы с описанием почв и отбором почвенных образцов закладывались по катене. В период обследования часть полей

орошалась (№ 2, 3, 8, 12, южная часть поля 1), другая была переведена в богарное использование после периода орошения (№ 4, 5, 6, 9, средняя часть поля 1), третья – все время использовалась в богаре (№ 10, северная часть поля 1).

Карбонатность – важная характеристика почв. Почвы, в которых в любом из горизонтов профиля присутствуют карбонаты щелочноземельных металлов в количестве 1% и более, относят к карбонатсодержащим почвам (Классификация ..., 2004). Карбонат кальция, присутствуя в почвах, оказывает сильное влияние на многие их свойства: щелочность, состав обменных катионов, физические свойства. Обнаружить и ориентировочно установить содержание карбонатов в полевых условиях можно по выделению углекислого газа (вскипанию) после взаимодействия почвы с 10% раствором HCl (Guidelines ..., 2006; Руководство ..., 2012). В полевых условиях при определении присутствия карбонатов оценивалась и степень вскипания по следующей градации: нет (вскипание отсутствует), слабое, среднее, сильное, локальное. Маршруты опробования поверхности почв на вскипание представлены на рисунке 3.

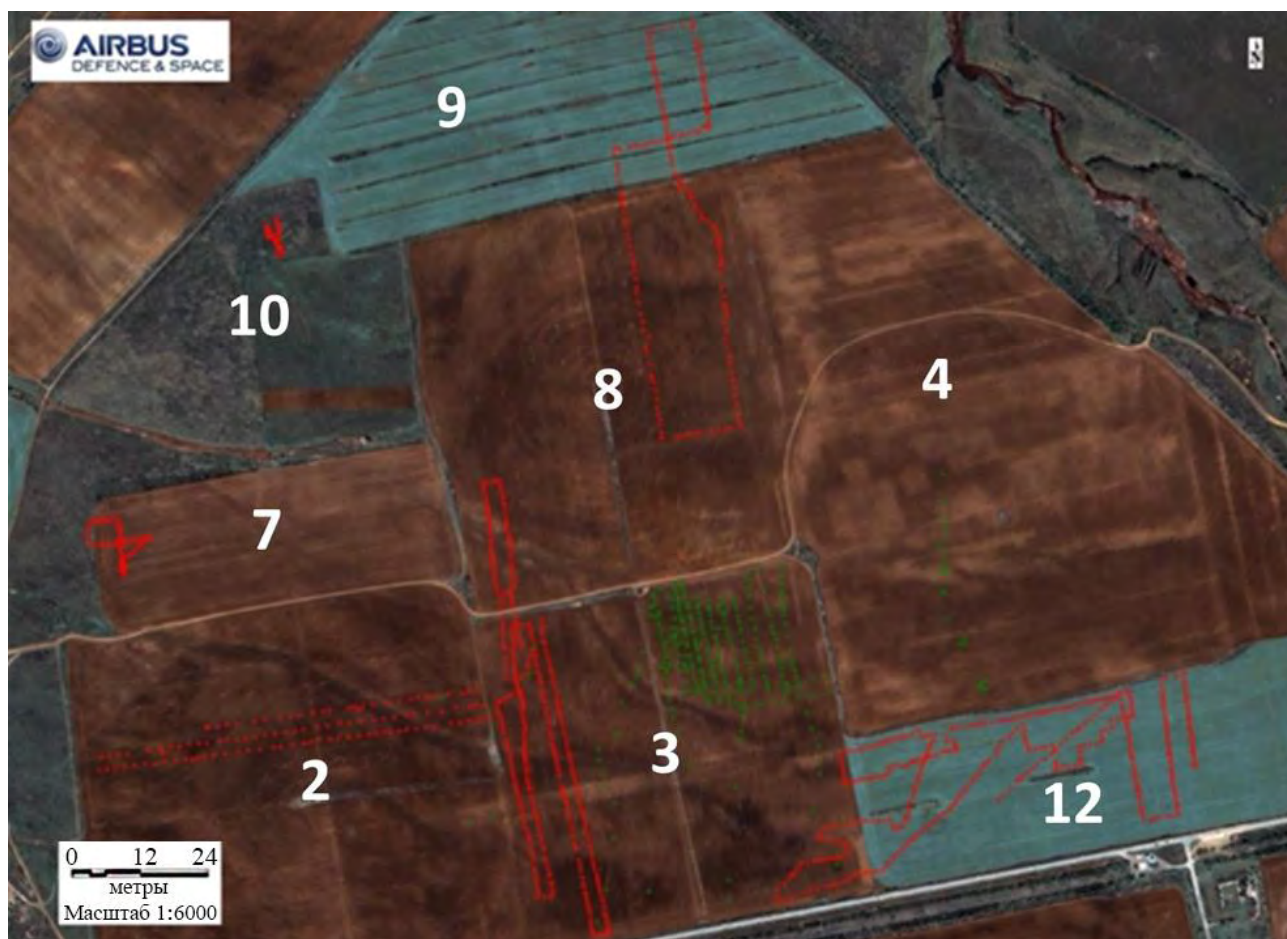


Рис. 3. Маршруты с точками определения вскипания почв с поверхности от 10% раствора HCl на с/х полях на территории опытной станции «Орошаемая», отмеченные на фрагменте космического снимка Pleiades, 25.04.2020. **Fig. 3.** Routes where the surface soil effervescence was determined on the cultivated fields, using the 10% solution of HCl, in the territory of the “Oroshayemaya” experimental station, marked on a fragment of the Pleiades satellite image, 25/042020.

Далее осуществлялась установка связи между спектральной яркостью в разных каналах (B1-B4) космического снимка Pleiades от 25.04.2020 в точках определения вскипания и степенью вскипания почв с поверхности, для того чтобы понять, изменяется ли степень вскипания почв в зависимости от ее спектральной яркости на снимке. Для этого с космических изображений была сделана выборка из пикселей, которые соответствуют точкам отбора почвенных проб на открытой местности. На основе такой выборки была составлена таблица (рис. 4).

В столбцах B1, B2, B3, B4 яркости пикселей даны в синем (Blue), зеленом (Green), красном (Red) и инфракрасном (NIR) каналах, а в столбце Class обозначена степень вскипания в соответствующей точке местности.

Затем строились диаграммы рассеяния яркости пикселей для всех каналов.

Результаты и обсуждение

Чтобы оценить предварительно возможную взаимосвязь между степенью вскипания почв и значениями пикселей из полученной выборки, строились двумерные диаграммы рассеяния, где по осям откладывались значения пикселей в одном из четырех каналов (значения столбцов B1-B4). Всего было построено 6 диаграмм для каждой комбинации каналов: B1-B2, B1-B3, B1-B4, B2-B3, B2-B4, B3-B4. Если на таких диаграммах отдельные классы (выделены цветом) группируются вместе и не смешиваются с другими, то набор обладает хорошей линейной различимостью. В нашем случае все классы на диаграммах в основном перемешаны друг с другом, что говорит о плохой различимости по степени вскипания почв во всех каналах (рис. 4).

1	B1	B2	B3	B4	Class
2	747.0	1026.0	1417.0	2075.0	1
3	777.0	1027.0	1418.0	2108.0	2
4	858.0	1154.0	1594.0	2361.0	2
5	787.0	1032.0	1435.0	2069.0	2
6	811.0	1088.0	1471.0	2131.0	2
7	864.0	1194.0	1631.0	2406.0	2
8	825.0	1099.0	1470.0	2187.0	3
9	865.0	1164.0	1604.0	2402.0	3
10	816.0	1092.0	1511.0	2168.0	2
11	854.0	1168.0	1548.0	2468.0	2
12	801.0	1095.0	1506.0	2242.0	5
13	844.0	1099.0	1479.0	2203.0	4
14	816.0	1102.0	1492.0	2218.0	3
15	779.0	998.0	1285.0	1911.0	1
16	824.0	1059.0	1365.0	2015.0	5
17	781.0	1015.0	1291.0	1905.0	4
18	758.0	1010.0	1362.0	2019.0	5
19	777.0	1017.0	1305.0	1918.0	1
20	813.0	1035.0	1329.0	1985.0	5
21	737.0	930.0	1213.0	1782.0	5
22	751.0	963.0	1235.0	1834.0	4
23	809.0	1050.0	1379.0	2021.0	4

Рис. 4. Пример таблицы яркостей в каналах B1-B4 и степени вскипания почв в точках опробования, отмеченных на космическом снимке Pleiades, 25.04.2020. *Условные обозначения:* 1-5 в колонке «Class» – степень вскипания почв, где 1 – нет, 2 – слабое, 3 – среднее, 4 – сильное, 5 – локальное. **Fig. 4.** An example of a table of brightness of the B1-B4 channels and soil effervescence degree at the sampling plots from the Pleiades satellite image, taken on 25/04/2020. *Legend:* 1-5 in the “Class” column – the degree of soil effervescence, where 1 means no effervescence, 2 – weak, 3 – average, 4 – strong, 5 – local.

Для статистического подтверждения плохой или хорошей различимости пикселей и возможности выделения классов по всем каналам использован алгоритм RandomForest. При обучении алгоритма треть выборки оставлена для тестирования, которая не участвовала в обучении. Полученная статистическая модель оценивалась по следующим параметрам:

1. Матрица ошибок, как правило, используется для классификации несбалансированного набора данных. Она сравнивает фактические значения с прогнозными, предсказанными моделью машинного обучения. В матрице ошибок на диагонали отмечается количество правильно отнесенных пикселей к выделенным классам по степени вскипания почв, где 1 – нет вскипания, 2 – слабое вскипание, 3 – среднее, 4 – сильное, 5 – локальное, т.е. где прогнозные значения соответствуют фактическим значениям. Все, что расположено выше, является ложно-положительными результатами, а ниже – ложно-отрицательными. Из матрицы на рисунке 5 видно, что из набора данных для всего ключевого участка с открытой поверхностью почв классы 2, 3, 5 практически не выделяются, а в классах 1 и 4 правильно идентифицируется не более половины случаев (рис. 6, табл. 2).

2. Кросс-валидация – способ оценки модели, который предусматривает применение скользящего контроля или перекрестной проверки. В этом случае фиксируется некоторое множество разбиений исходной выборки на две подвыборки: обучающую и контрольную. Для каждого разбиения выполняется настройка алгоритма по обучающей подвыборке, затем оценивается его средняя ошибка на объектах контрольной подвыборки. Оценкой скользящего контроля называется средняя по всем разбиениям величина ошибки на контрольных подвыборках. По результатам кросс-валидации из набора данных для всего ключевого участка, где выборка разбивалась на 5 частей, точность классификации оказалась следующей: 0.430, 0.401, 0.441, 0.498, 0.507.

3. Точность – это доля правильных ответов модели в пределах класса относительно всех объектов, которые система отнесла к этому классу.

4. Полнота – это доля истинно положительных классификаций. Она показывает, какую долю объектов, реально относящихся к положительному классу, мы предсказали верно.

5. *F-мера*. В реальной жизни максимальная точность и полнота недостижимы одновременно, поэтому между ними приходится искать некий баланс. Необходим параметр, который объединял бы в себе информацию о точности и полноте алгоритма. Именно такой метрикой является *F-мера*, которая не зависит от соотношения классов, а потому применима в условиях несбалансированных выборок. *F-мера* представляет собой гармоническое среднее между точностью и полнотой. Она стремится к нулю, если точность или полнота стремятся к нулю.

Макроусреднение, среднее арифметическое взвешенное характеризуют набор данных в целом.

Показатели (метрики) классификации выборки из пикселей на снимке, соответствующие точкам опробования по вскипанию почв на ключевом участке, представлены в таблице 2.

Из приведенных расчетов видно, что точность классификации изображения ключевого участка по степени вскипания почв с поверхности не превышает 0.58, а значит, использовать такое классифицированное космическое изображение не имеет смысла.

В следующем подходе проведем классификацию выборки по обобщенной характеристике вскипания почв «есть/нет», где она представлена более гармонично. Построим двумерные диаграммы рассеяния и оценим возможность выделения классов по всем каналам (рис. 7).

Из рисунка 7 видно, что точки разных классов на диаграммах перемешаны друг с другом, что говорит о плохой различимости выборки на 2 класса (есть/нет) по степени вскипания почв с поверхности во всех каналах.

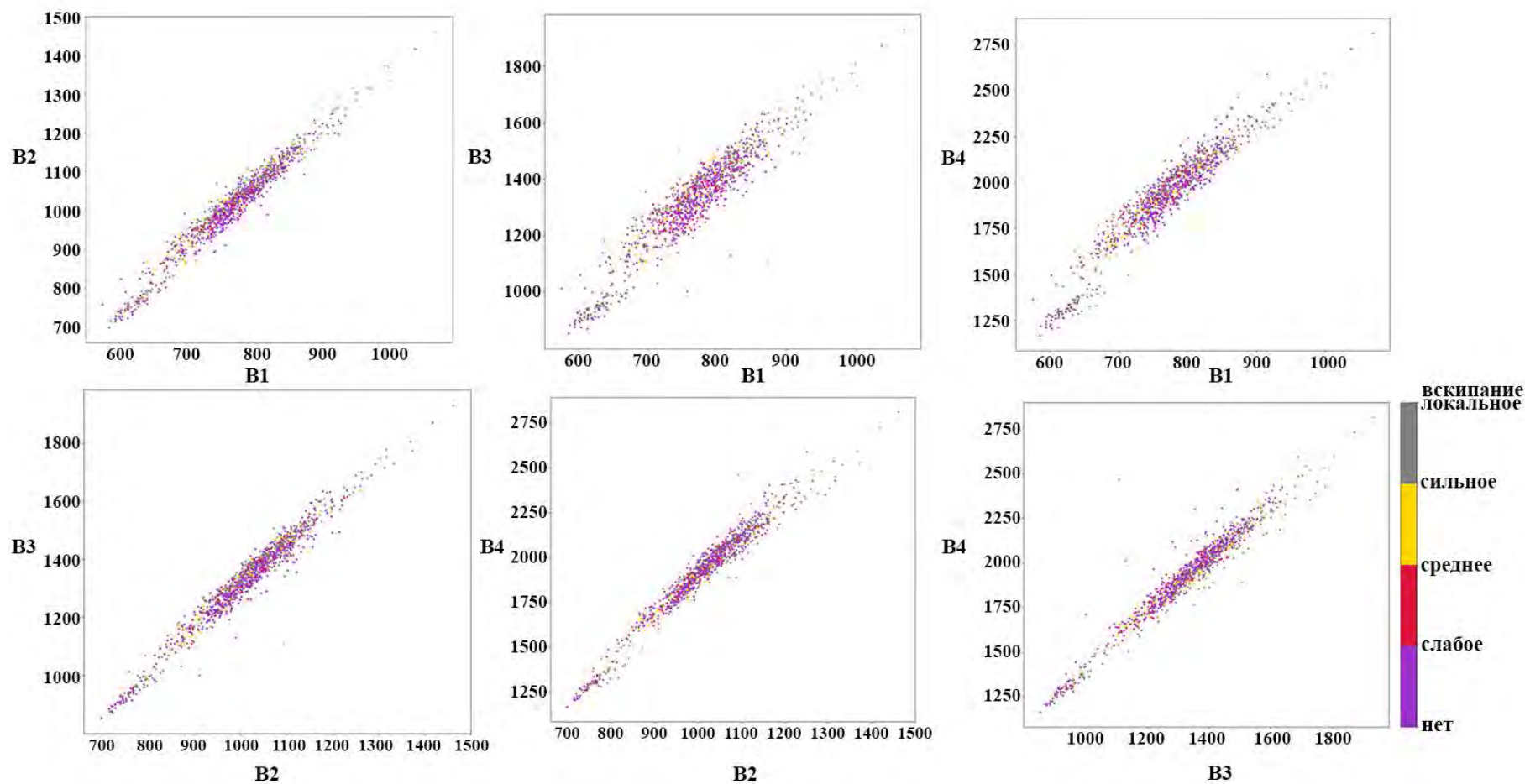


Рис. 5. Диаграммы рассеяния яркости пикселей и степень вскипания почв (отражена цветом) в точках опробования на ключевом участке с открытой поверхностью почв в каналах Blue (B1), Green (B2), Red (B3), NIR (B4), составленные по космическому снимку Pleiades, 25.04.2020.
Fig. 5. Scatterplots of pixel brightness and soil effervescence degree (highlighted in color) at the sampling plots of the key area with an open soil surface in the Blue (B1), Green (B2), Red (B3) and NIR (B4) channels, based on a Pleiades satellite image taken on 25/04/2020.

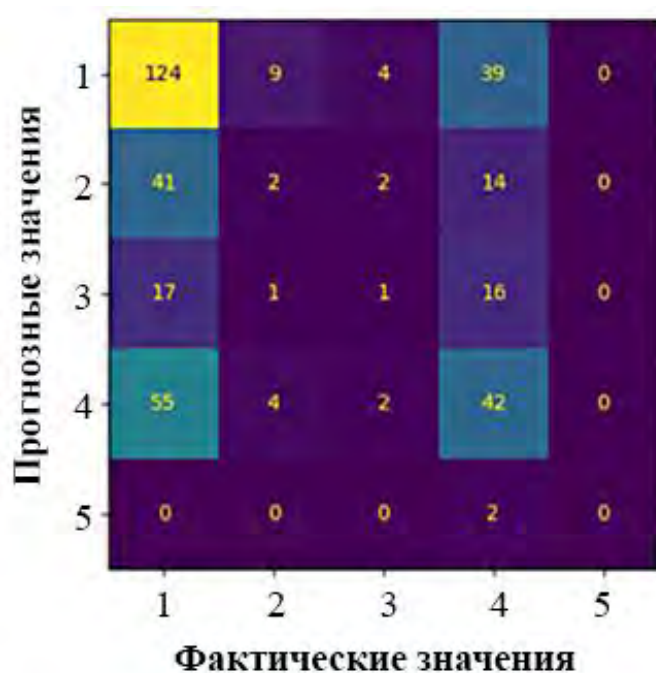


Рис. 6. Матрица ошибок классифицированного изображения ключевого участка по степени вскипания почв с поверхности по космическому снимку Pleiades, 25.04.2020. *Условные обозначения:* 1 – нет вскипания, 2 – слабое вскипание, 3 – среднее, 4 – сильное, 5 – локальное. **Fig. 6.** Error matrix of the classified image of the key area for surface soil effervescence degree, based on the Pleiades satellite image, 25/04/2020. *Legend:* 1 – no effervescence, 2 – weak effervescence, 3 – average, 4 – strong, 5 – local.

Таблица 2. Статистические показатели классификации изображения ключевого участка по степени вскипания почв с поверхности с использованием алгоритма Random Forest по космическому снимку Pleiades, 25.04.2020. **Table 2.** Statistical indices of the classification of the key area image, according to the degree of surface soil effervescence, using the Random Forest and the Pleiades satellite image, 25/04/2020.

Параметры (метрики)	Точность	Полнота	F-мера	Выборка
1 – нет вскипания	0.52	0.7	0.6	176
2 – слабое вскипание	0.12	0.03	0.05	59
3 – среднее вскипание	0.11	0.03	0.05	35
4 – сильное вскипание	0.37	0.41	0.39	103
5 – локальное вскипание	0	0	0	2
Доля правильных ответов	–	–	0.58	379
Макроусреднение	0.58	0.58	0.58	379
Среднее арифметическое взвешенное	0.58	0.58	0.58	379

Матрица ошибок и статистические показатели (метрики), которые представлены на рисунке 8 и в таблице 3, показывают, что, хотя выборка стала более сбалансированной (192/187 пикселей), точность классификации изображения ключевого участка на 2 класса по вскипанию почв с поверхности (есть/нет) также не превысила 0.58.

Далее обработка выборки была проведена иным образом: из нее убрали значения яркостей луговатых- и лугово-каштановых почв, которые могут быть вскипающими с поверхности в результате намыва карбонатного материала с соседних участков, но за счет более высокого содержания гумуса имеют темный тон на снимке и вносят определенные помехи в расчеты.

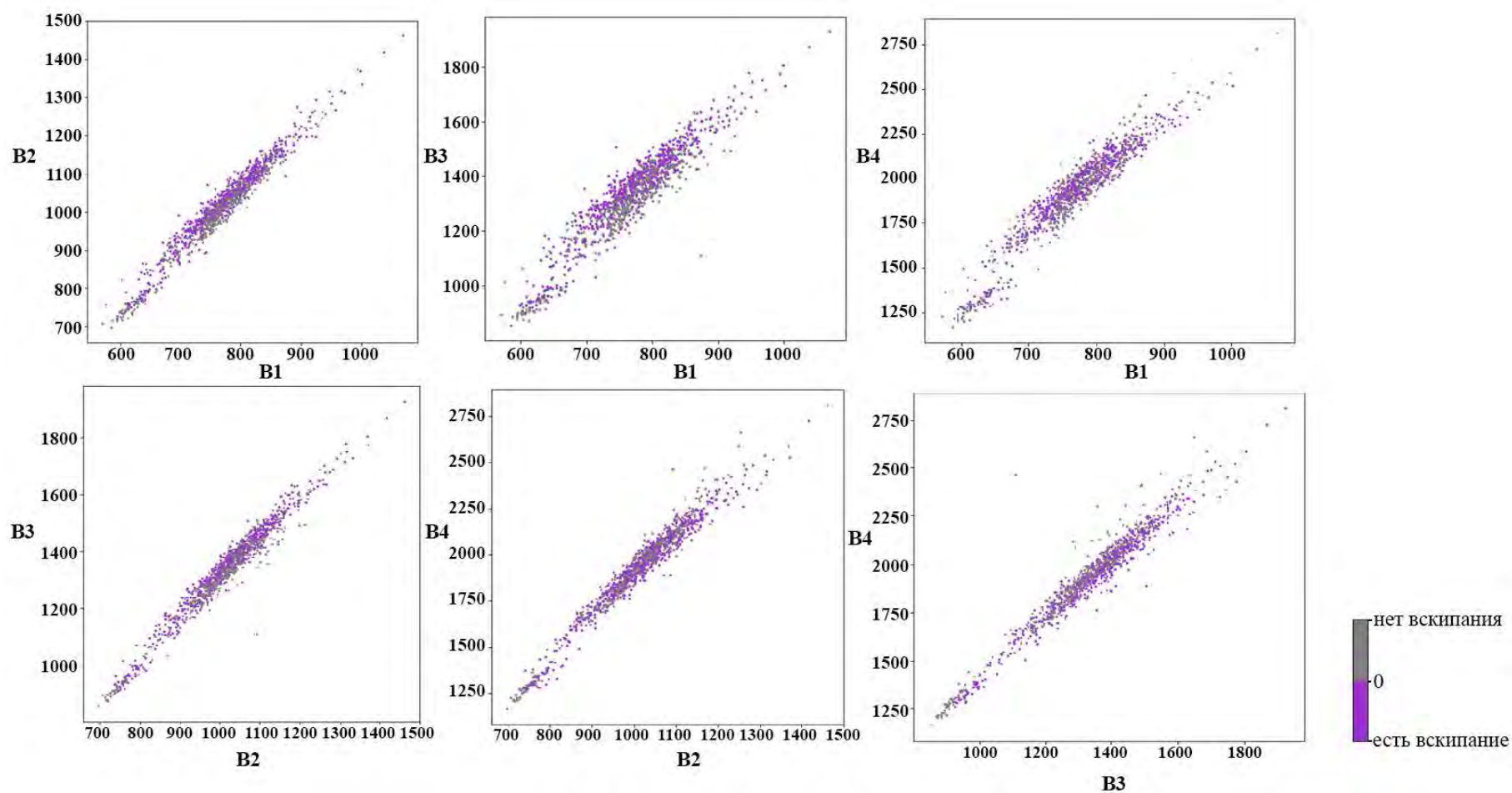


Рис. 7. Диаграммы рассеяния яркости пикселей и вскипание почв (есть/нет) в точках опробования на ключевом участке с открытой поверхностью почв в каналах Blue (B1), Green (B2), Red (B3), NIR (B4), составленные по космическому снимку Pleiades, 25.04.2020.

Fig. 7. Scatterplots of pixel brightness and soil effervescence (present/absent) at the sampling plots in the key area with an open soil surface, presented in the Blue (B1), Green (B2), Red (B3) and NIR (B4) channels and compiled using the Pleiades satellite image, 25/04/2020.

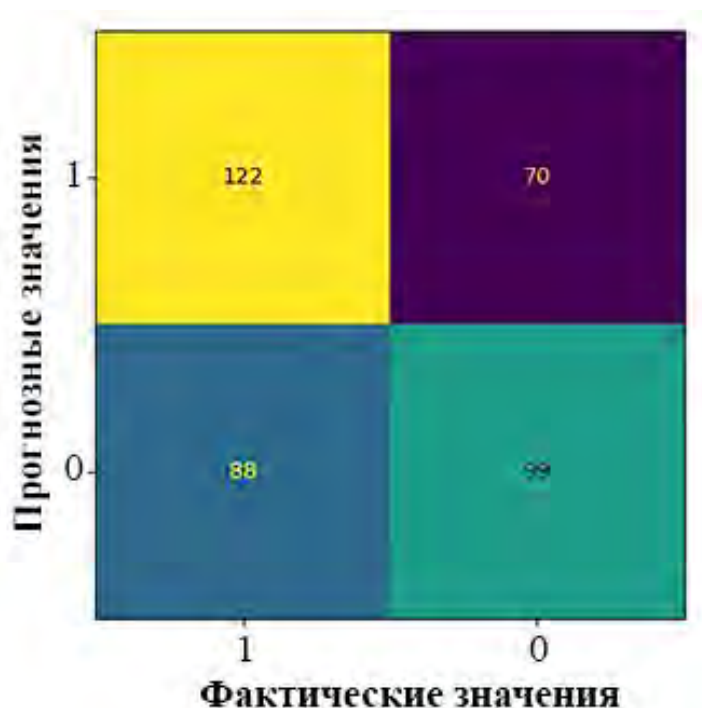


Рис. 8. Матрица ошибок классифицированного изображения ключевого участка по вскипанию почв с поверхности (есть/нет) по космическому снимку высокого разрешения Pleiades, 25.04.2020.
Fig. 8. Error matrix of the classified image of the key area for surface soil effervescence (present/absent) based on the Pleiades satellite image, 25/04/2020.

Таблица 3. Статистические показатели классификации изображения ключевого участка по вскипанию почв с поверхности (есть/нет) с использованием алгоритма Random Forest по космическому снимку Pleiades, 25.04.2020. **Table 3.** Statistical indices of the image classification of the key area for surface soil effervescence (present/absent) based on the Random Forest algorithm and the Pleiades satellite image, 25/04/2020.

Параметры (метрики)	Точность	Полнота	F-мера	Выборка
1 – есть вскипание	0.58	0.64	0.61	192
0 – нет вскипания	0.59	0.53	0.56	187
Доля правильных ответов	–	–	0.58	379
Макроусреднение	0.58	0.58	0.58	379
Среднее арифметическое взвешенное	0.58	0.58	0.58	379

Значения с локальным, слабым и средним вскипанием также были исключены и оставлены значения с сильным вскипанием и с отсутствием вскипания почв. Затем спектральные яркости точек были определены уже по другому снимку, взятому за теплый и сухой период (июль, 2020) года, RGB-изображению с портала Yandex (Pleiades, 28.06.2020). В результате получили следующую матрицу ошибок и статистические параметры (рис. 9, табл. 4).

Точность классификации изображения ключевого участка по вскипанию почв с поверхности при разделении на 2 класса (сильное вскипание/нет вскипания) составила 0.7. Таким образом, получается, что лучше использовать снимок за более сухой период съемки, чтобы влажность почвы не маскировала яркость пикселей и исключить из выборки луговато- и лугово-каштановые почвы, как более темные по тону на снимке и оставить для анализа только значения точек с отсутствием вскипания и сильным вскипанием почв.

При анализе космических изображений было замечено, что у полей с открытой

поверхностью почв наблюдались разные диапазоны яркостей в четырех каналах. Это дало возможность предположить, что поля исследуемой территории можно разбить на группы со схожими диапазонами яркости и проводить классификацию по группам или по отдельным полям внутри группы. При таком разбиении точность классификации по вскипанию с поверхности почв должна существенно повыситься. Для такого подхода был взят снимок Pleiades (25.04.2020) и исключены из процесса обработки поля с вегетирующей культурой и за пределами сельскохозяйственного освоения. Далее были построены диаграммы рассеяния, которые представлены на рисунке 10, где цветом показаны совпадение диапазонов яркости полей (А) и различия (Б). Исходя из таких диаграмм, мы определили следующие схожие по яркости на снимке группы полей: 1) 1, 5; 2) 2, 3, 8; 3) 4, 7. Исключены из сравнения поля № 6, 9 и 12, поскольку в это время они находились под вегетирующими культурами; поле 10 является залежью, а участок 11 – долиной балки (рис. 1).

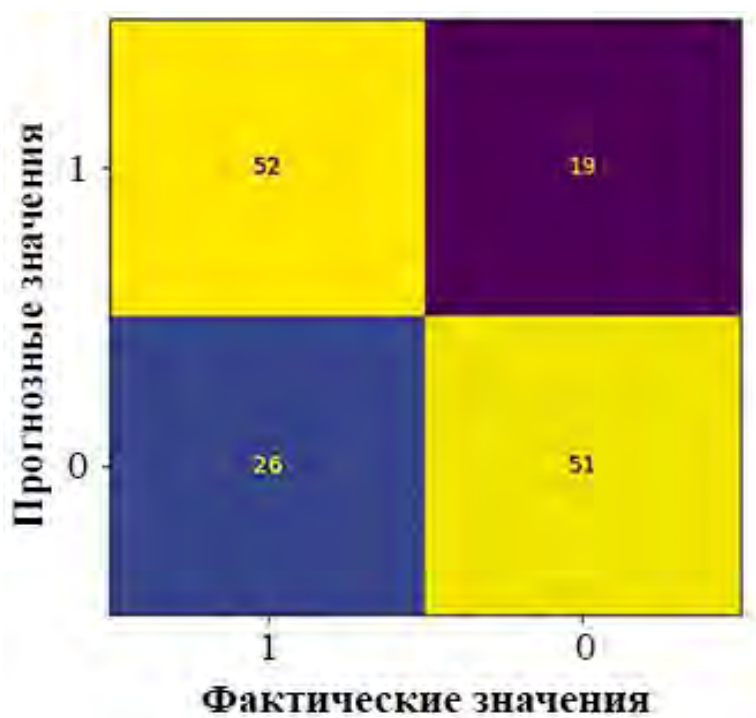


Рис. 9. Матрица ошибок классифицированного изображения ключевого участка по вскипанию почв с поверхности (сильное вскипание/нет) по космическому снимку Pleiades, 28.06.2020.
Fig. 9. Error matrix of the classified image of the key area for surface soil effervescence (strong/absent) based on the Pleiades high-resolution satellite image, 28/06/2020.

Таблица 4. Статистические показатели классификации изображения ключевого участка по вскипанию почв с поверхности (сильное вскипание/нет) с использованием алгоритма Random Forest по снимку Pleiades, 28.06.2020. **Table 4.** Statistical indices of the image classification of the key area for surface soil effervescence (strong/absent) based on the Random Forest algorithm and the Pleiades satellite image, 28/06/2020.

Параметры (метрики)	Точность	Полнота	F-мера	Выборка
1 – сильное вскипание	0.67	0.73	0.7	71
0 – нет	0.73	0.66	0.69	77
Доля правильных ответов	–	–	0.7	148
Макроусреднение	0.7	0.7	0.7	148
Среднее арифметическое взвешенное	0.7	0.7	0.7	148

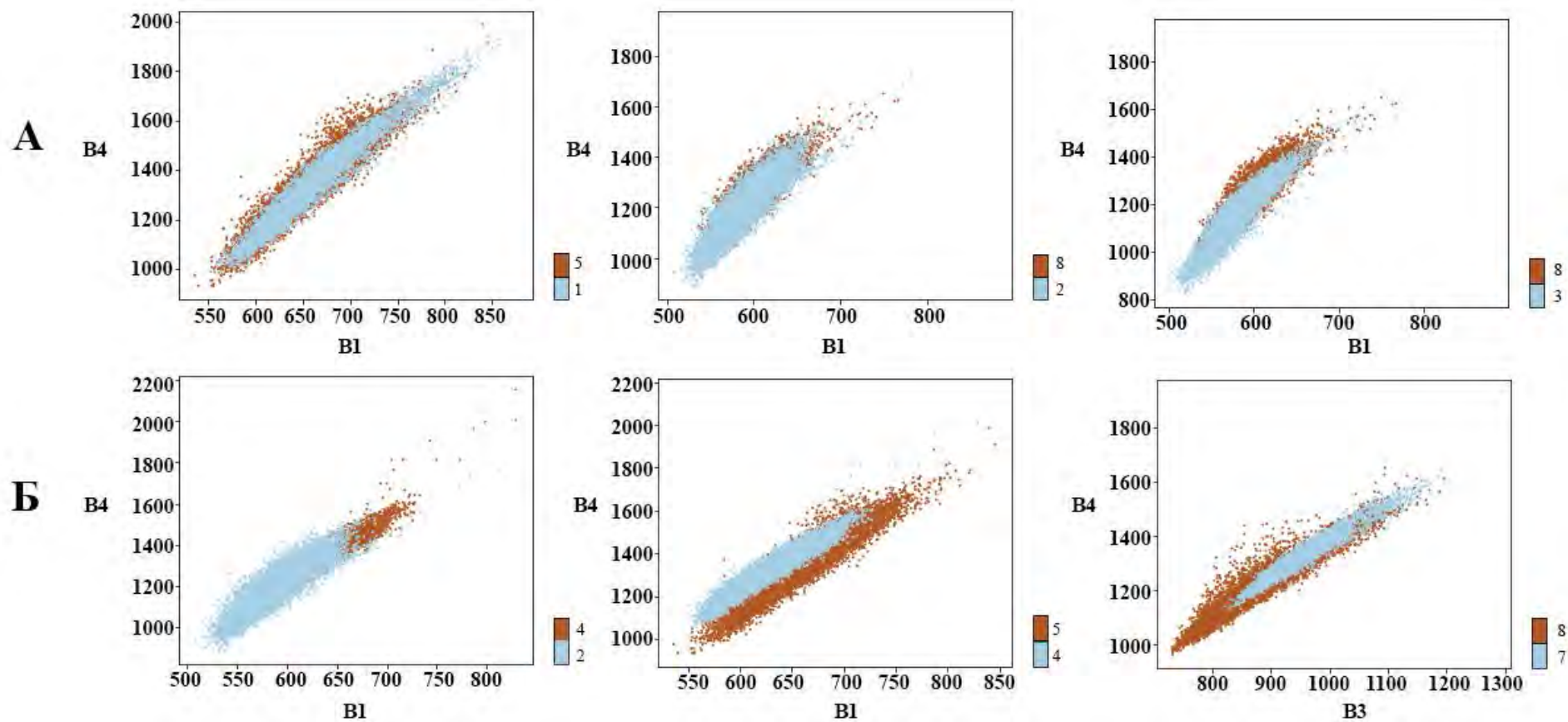


Рис. 10. Разделение полей по спектральной яркости. *Условные обозначения:* А – яркости полей совпадают, Б – яркости полей разделяются, 1-8 – номера полей. **Fig. 10.** Fields grouped according to their spectral brightness. *Legend:* А – similar brightness, Б – different brightness, 1-8 – No. of fields.

Была создана программа автоматизированного дешифрирования снимков для классификации почв с открытой поверхностью по степени вскипания. Схема этой программы представлена на рисунке 11. Согласно этой схеме, обработка космического изображения производится описанным далее образом.

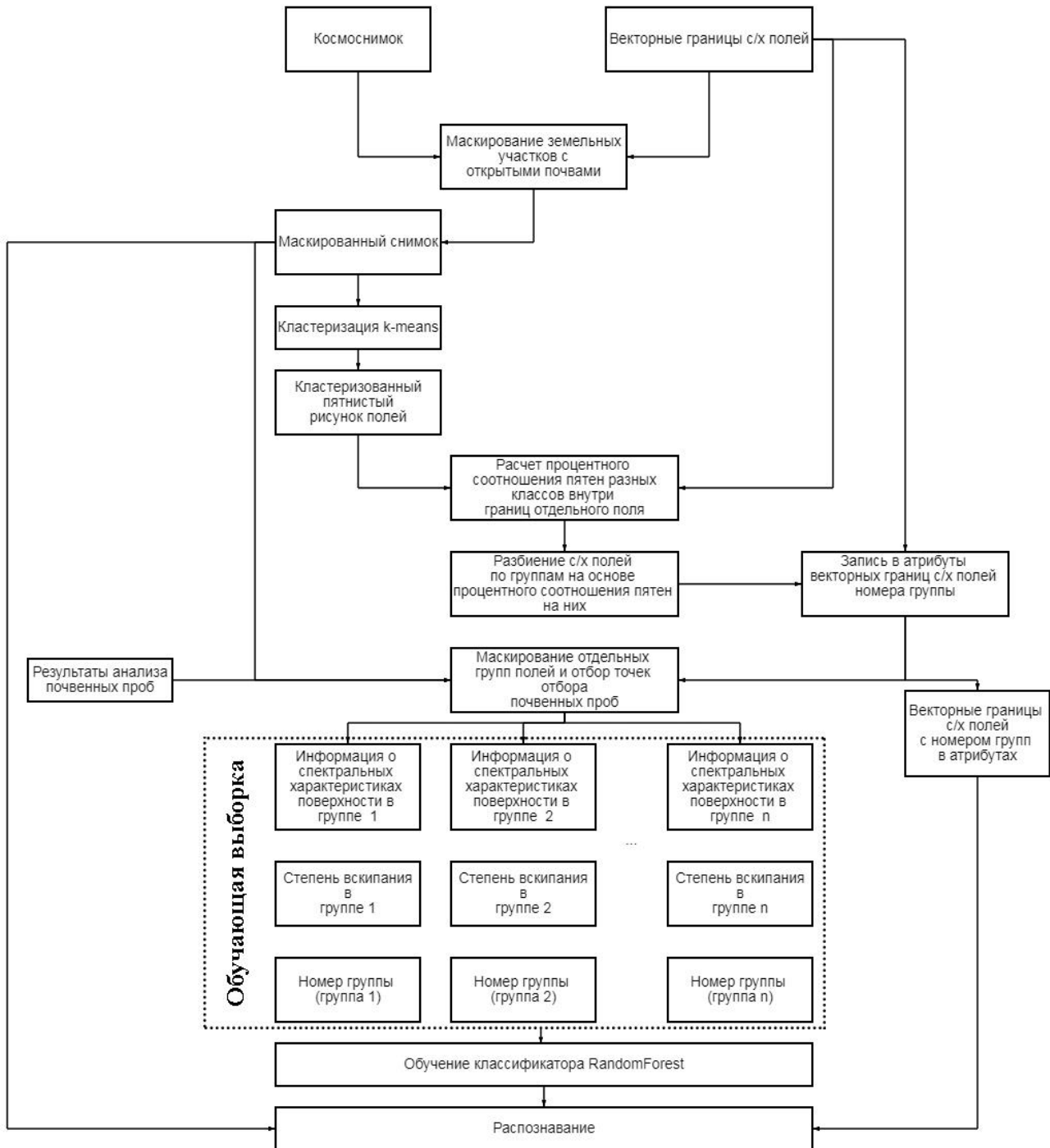


Рис. 11. Схема этапов автоматизированного дешифрирования космического изображения для классификации почв с открытой поверхностью по степени вскипания. **Fig. 11.** Stages of auto-interpretation of a space image to classify the soils with an open surface according to their effervescence degree.

Входное изображение снимка маскируется так, чтобы на нем оставались только поля с открытой поверхностью почвы и векторными границами полей. Далее все выделенные поля группируются с использованием автоматической кластеризации на основе алгоритма k-means, а затем группы полей (или одно поле) обрабатываются по отдельности в программе RandomForest с учетом полевых данных.

Результаты обработки космических изображений групп полей и отдельных полей. Рассмотрим результаты классификации группы полей 1 и 5 по степени вскипания с поверхности почв на 4 класса, где 1 – нет вскипания, 2 – слабое вскипание, 3 – среднее вскипание, а 4 – сильное вскипание, с применением алгоритма RandomForest. Для этого будем использовать спектральную яркость не только в точках опробования, но и дополнительно в точках вокруг, с помощью скользящего окна. Получим следующую матрицу ошибок и статистические показатели (метрики; рис. 12, табл. 5).

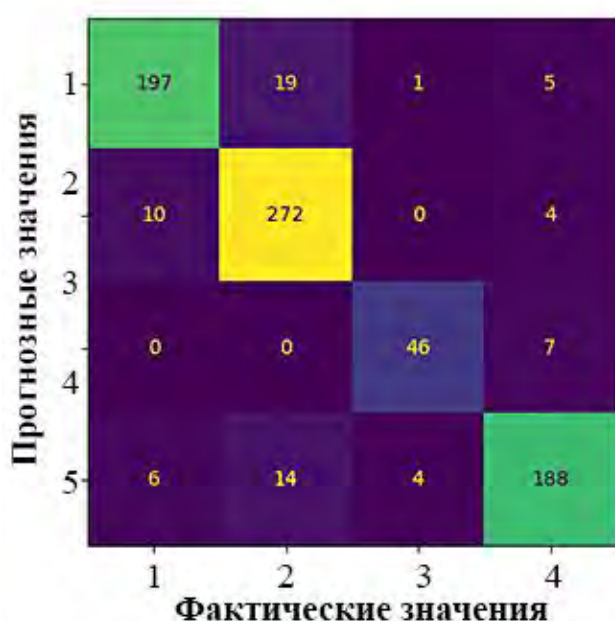


Рис. 12. Матрица ошибок классифицированного изображения по степени вскипания почв с поверхности (4 класса) группы полей № 1 и 5 по космическому снимку высокого разрешения Pleiades, 25.04.2020. **Fig. 12.** Error matrix of the classified image of the fields No. 1 and 5 for their surface soil effervescence (4 classes) based on the Pleiades high-resolution satellite image, 25/04/2020.

Таблица 5. Статистические показатели классификации изображения по вскипанию почв с поверхности (4 класса) группы полей № 1 и 5 с использованием алгоритма Random Forest по космическому снимку Pleiades, 25.04.2020. **Table 5.** Statistical indices of the image classification of the fields No. 1 and 5 for their surface soil effervescence (4 classes) based on the Random Forest algorithm and the Pleiades satellite image, 25/04/2020.

Параметры (метрики)	Точность	Полнота	F-мера	Выборка
1 – нет вскипания	0.92	0.89	0.91	222
2 – слабое вскипание	0.89	0.95	0.92	286
3 – среднее вскипание	0.90	0.87	0.88	53
4 – сильное вскипание	0.92	0.89	0.90	212
Доля правильных ответов	–	–	0.91	773
Макроусреднение	0.91	0.90	0.90	773
Среднее арифметическое взвешенное	0.91	0.91	0.91	773

В итоге кросс проверки, где выборка разбивалась на 4 части, точность классификации получилась следующая: 0.881, 0.911, 0.886, 0.928. Общий коэффициент классификации 0.91 (табл. 5).

Визуализация классификации почв по степени вскипания с поверхности группы полей № 1 и 5 на космическом снимке Pleiades от 25.04.2020 представлена на рисунке 13.

При совместном анализе группы полей № 2, 3, 8 точность классификации составила 0.54, что явно недостаточно, поэтому данная группа рассматривается отдельно по каждому полю.

Результаты статистической обработки отдельно для поля № 2 с применением алгоритма RandomForest, используя спектральную яркость в точках опробования и дополнительно вокруг, представлены в матрице ошибок и показателях (метриках) на рисунке 14 и в таблице 6.

В итоге кросс проверки, где выборка разбивалась на 4 части, точность классификации получилась следующая: 0.731, 0.719, 0.761, 0.753. Общий коэффициент классификации 0.75.

Визуализация классификации почв по степени вскипания с поверхности поля № 2 на космическом снимке Pleiades от 25.04.2020 представлена на рисунке 15.

Продолжим обработку отдельного поля № 8 по степени вскипания почв с поверхности и представим матрицу ошибок классификации и статистические показатели (метрики) на рисунке 16 и в таблице 7.

В итоге кросс проверки, где выборка разбивалась на 4 части, точность классификации поля № 8 получилась следующая: 0.767, 0.769, 0.756, 0.774. Общий коэффициент классификации – 0.77.

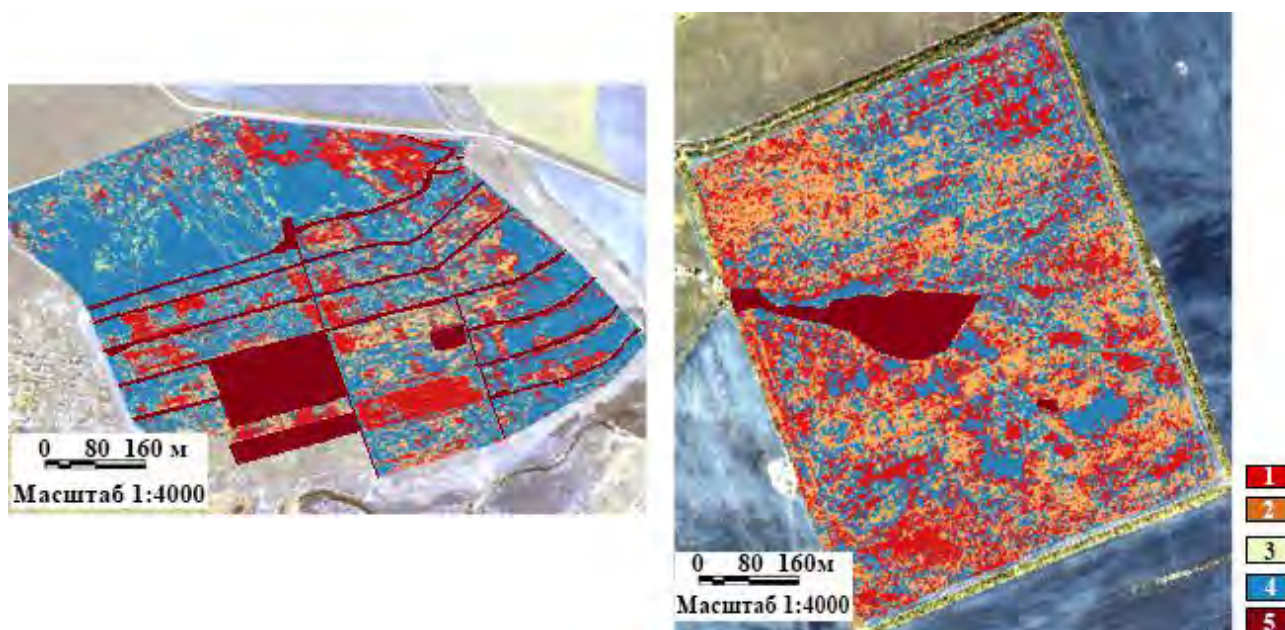


Рис. 13. Результаты классификации полей № 1 и 5 по степени вскипания почв с поверхности на космическом снимке Pleiades от 25.04.2020 с использованием алгоритма Random Forest. Условные обозначения: 1 – нет вскипания, 2 – слабое вскипание, 3 – среднее вскипание, 4 – сильное вскипание, 5 – каналы, дороги, ложбины, участки поля с с/х культурой.

Fig. 13. Classification results for the fields No. 1 and 5, according to the degree of their surface effervescence, using the Random Forest and the Pleiades satellite image, 25/04/2020. Legend: 1 – no effervescence, 2 – weak effervescence, 3 – average effervescence, 4 – strong effervescence, 5 – canals, roads, hollows, parts of the fields with agricultural crops.

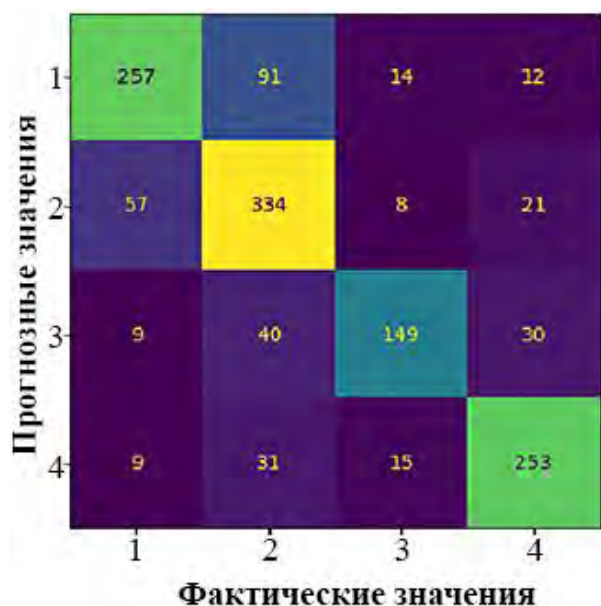


Рис. 14. Матрица ошибок классифицированного изображения по степени вскипания почв с поверхности (4 класса) поля № 2 по космическому снимку высокого разрешения Pleiades, 25.04.2020. **Fig. 14.** Error matrix of the classified image of the field No. 2 for its surface soil effervescence (4 classes) based on the Pleiades high-resolution satellite image, 25/04/2020.

Таблица 6. Статистические показатели классификации изображения по вскипанию почв с поверхности (4 класса) поля № 2 с использованием алгоритма Random Forest по космическому снимку Pleiades, 25.04.2020. **Table 6.** Statistical indices of the image classification of the field No. 2 for its surface soil effervescence (4 classes) based on the Random Forest algorithm and the Pleiades satellite image, 25/04/2020.

Параметры (метрики)	Точность	Полнота	F-мера	Выборка
1 – нет вскипания	0.77	0.69	0.73	374
2 – слабое вскипание	0.67	0.80	0.73	420
3 – среднее вскипание	0.80	0.65	0.72	228
4 – сильное вскипание	0.80	0.82	0.81	308
Доля правильных ответов	–	–	0.75	1330
Макроусреднение	0.76	0.74	0.75	1330
Среднее арифметическое взвешенное	0.75	0.75	0.75	1330

Визуальные результаты классификации почв по степени вскипания с поверхности поля № 8 на космическом снимке Pleiades от 25.04.2020 представлены на рисунке 17.

На поле № 3 было заложено больше всего полевых маршрутов по определению вскипания почв с поверхности (рис. 2). Однако отметим, что на данном поле значительную часть площади (до 1/3) занимают луговато- и лугово-каштановые почвы. Проведем обработку без исключения из выборки данных почв, для того чтобы определить их влияние на точность классификации.

Представим матрицу ошибок классификации и статистические показатели (метрики) обработки поля № 3 на рисунке 18 и в таблице 8.

В итоге кросс проверки, где выборка разбивалась на 4 части, точность классификации поля № 3 получилась следующая: 0.625, 0.613, 0.608, 0.625. Общий коэффициент классификации – 0.65.

Точность классификации поля № 3 получилась самой низкой (0.65) из всех обработанных изображений, несмотря на то, что полевых точек здесь значительно больше, чем на других

полях. Это подтверждаем наш вывод о том, что луговато- и лугово-каштановые почвы, как правило, не карбонатные по природе, из-за привнесенных карбонатов с близлежащих участков во время распашки или с переносом водой становятся вскипающими и попадают в класс карбонатных почв. Поэтому, при обработке космической информации следует исключать из выборок луговатые и луговые почвы, которые влияют на точность классификации.

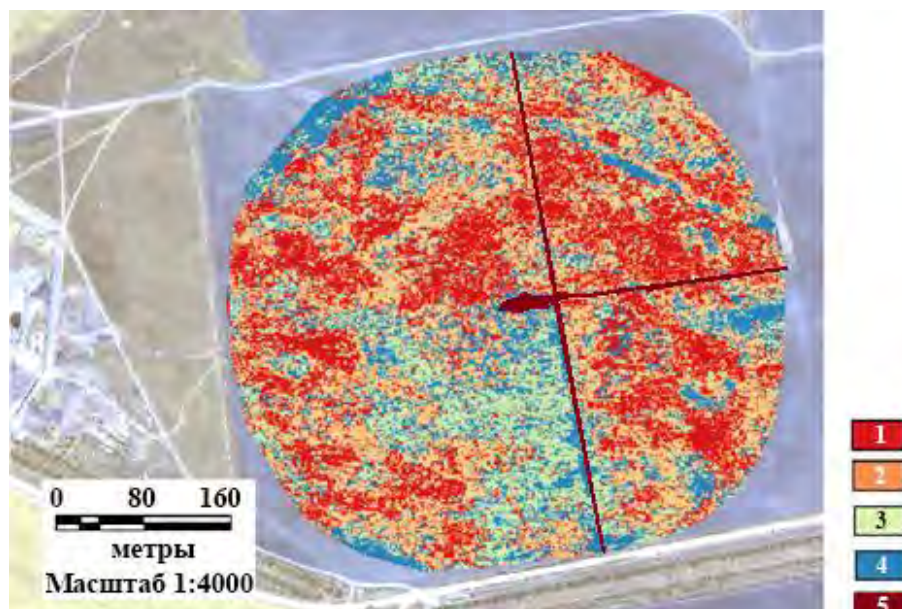


Рис. 15. Результаты классификации по степени вскипания почв с поверхности на космическом снимке Pleiades от 25.04.2020 с использованием алгоритма Random Forest для поля № 2. *Условные обозначения:* 1 – нет вскипания, 2 – слабое вскипание, 3 – среднее вскипание, 4 – сильное вскипание, 5 – каналы, дороги, ложбины и др. **Fig. 15.** Classification results for the field No. 2, according to the degree of its surface effervescence, using the Random Forest and the Pleiades satellite image, 25/04/2020. *Legend:* 1 – no effervescence, 2 – weak effervescence, 3 – average effervescence, 4 – strong effervescence, 5 – canals, roads, hollows.

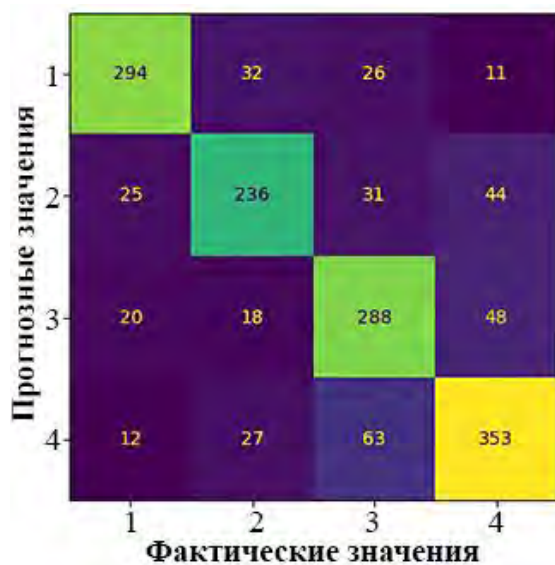


Рис. 16. Матрица ошибок классифицированного изображения по степени вскипания почв с поверхности (4 класса) поля № 8 по космическому снимку высокого разрешения Pleiades, 25.04.2020. **Fig. 16.** Error matrix of the classified image of the field No. 8 for its surface soil effervescence (4 classes) based on the Pleiades high-resolution satellite image, 25/04/2020.

Таблица 7. Статистические показатели классификации изображения по вскипанию почв с поверхности (4 класса) поля № 8 с использованием алгоритма Random Forest по космическому снимку Pleiades, 25.04.2020. **Table 7.** Statistical indices of the image classification of the field No. 8 for its surface soil effervescence (4 classes) based on the Random Forest algorithm and the Pleiades satellite image, 25/04/2020.

Параметры (метрики)	Точность	Полнота	F-мера	Выборка
1 – нет вскипания	0.84	0.81	0.82	363
2 – слабое вскипание	0.75	0.70	0.73	336
3 – среднее вскипание	0.71	0.77	0.74	374
4 – сильное вскипание	0.77	0.78	0.77	455
Доля правильных ответов	–	–	0.77	1528
Макроусреднение	0.77	0.76	0.77	1528
Среднее арифметическое взвешенное	0.77	0.77	0.77	1528

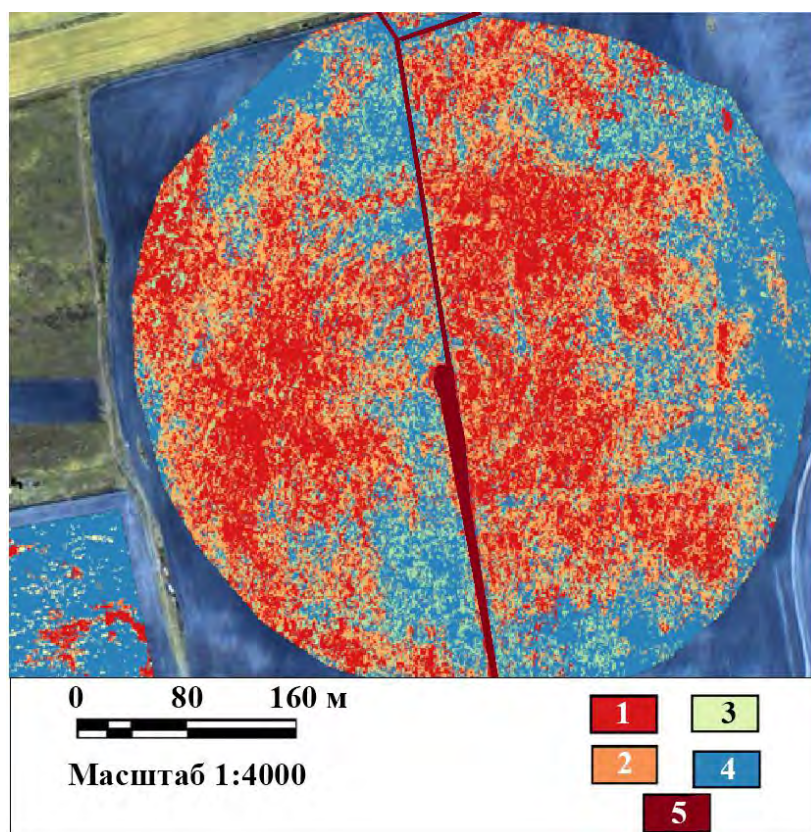


Рис. 17. Результаты классификации поля № 8 по степени вскипания почв с поверхности на космическом снимке Pleiades от 25.04.2020 с использованием алгоритма Random Forest. *Условные обозначения:* 1 – нет вскипания, 2 – слабое вскипание, 3 – среднее вскипание, 4 – сильное вскипание, 5 – дороги, полосы от гидрантов. **Fig. 17.** Classification results for the field No. 8, according to the degree of its surface effervescence, using the Random Forest and the Pleiades satellite image, 25/04/2020. *Legend:* 1 – no effervescence, 2 – weak effervescence, 3 – average effervescence, 4 – strong effervescence, 5 – roads, traces left by irrigation structures.

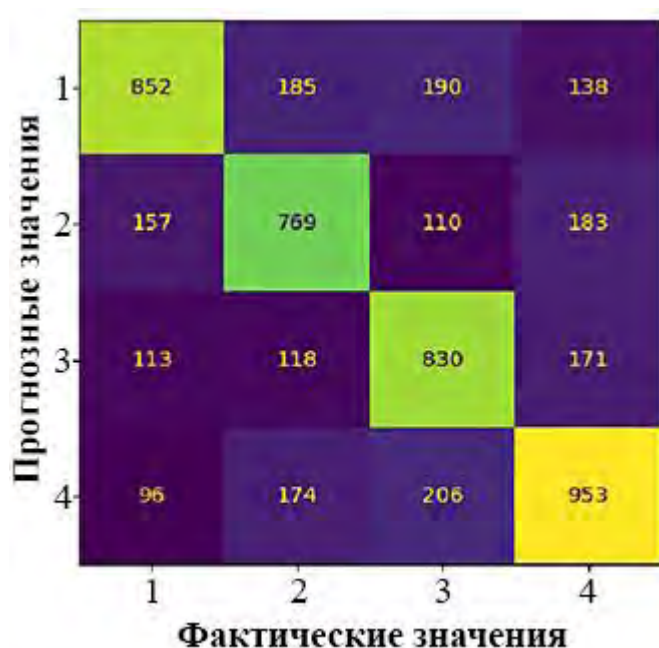


Рис. 18. Матрица ошибок классифицированного изображения по степени вскипания почв с поверхности (4 класса) поля № 3 по космическому снимку высокого разрешения Pleiades, 25.04.2020.
Fig. 18. Error matrix of the classified image of the field No. 3 for its surface soil effervescence (4 classes) based on the Pleiades high-resolution satellite image, 25/04/2020.

Таблица 8. Статистические показатели классификации изображения по вскипанию почв с поверхности (4 класса) поля № 3 с использованием алгоритма Random Forest по космическому снимку Pleiades, 25.04.2020. **Table 8.** Statistical indices of the image classification of the field No. 3 for its surface soil effervescence (4 classes) based on the Random Forest algorithm and the Pleiades satellite image, 25/04/2020.

Параметры (метрики)	Точность	Полнота	F-мера	Выборка
1 – нет вскипания	0.70	0.62	0.66	1365
2– слабое вскипание	0.62	0.63	0.62	1219
3 – среднее вскипание	0.62	0.67	0.65	1232
4– сильное вскипание	0.66	0.67	0.66	1429
Доля правильных ответов	–	–	0.65	5245
Макроусреднение	0.65	0.65	0.65	5245
Среднее арифметическое взвешенное	0.65	0.65	0.65	5245

Визуальный результат классификации почв по степени вскипания с поверхности поля № 3 на космическом снимке Pleiades от 25.04.2020 представлен на рисунке 19.

Выводы

Полученные результаты дают основание считать, что при совместном использовании космической информации высокого разрешения и данных полевых обследований возможно достоверное выделение карбонатных с поверхности почв при соблюдении определенных требований к методике работ:

- проводить полевые обследования и выбирать дату снимков предпочтительно на сухой сезон (май-июль);
- не вовлекать при обработке снимка поля под вегетирующей сельскохозяйственной

культурой, залежью и поверхностью за пределами сельскохозяйственного освоения;

– исключать из выборки луговато- и лугово-каштановые почвы, т.к. гумусированность и влажность почвы маскируют яркость пикселей, а на местности привнесенные карбонаты могут давать искажение в расчетах.

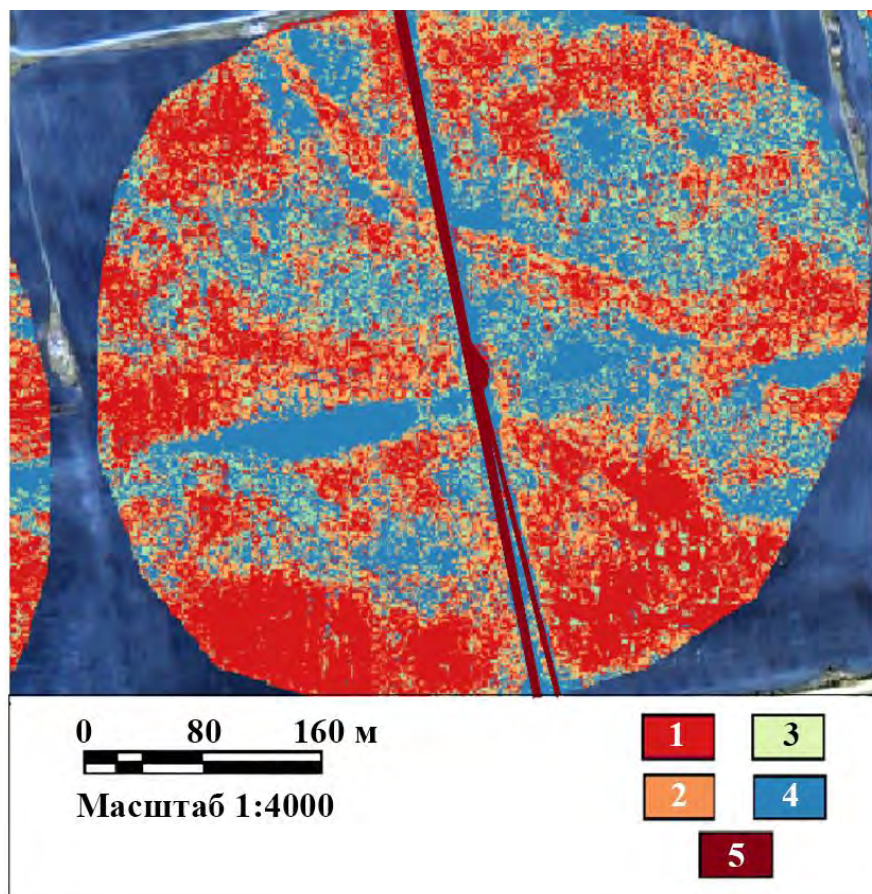


Рис. 19. Результаты классификации поля № 8 по степени вскипания почв с поверхности на космическом снимке Pleiades от 25.04.2020 с использованием алгоритма Random Forest. *Условные обозначения:* 1 – нет вскипания, 2 – слабое вскипание, 3 – среднее вскипание, 4 – сильное вскипание, 5 – дороги, полосы от гидрантов. **Fig. 19.** Classification results for the field No.3, according to the degree of its surface effervescence, using the Random Forest and the Pleiades satellite image, 25/04/2020. *Legend:* 1 – no effervescence, 2 – weak effervescence, 3 – average effervescence, 4 – strong effervescence, 5 – roads, traces left by irrigation structures.

Выделение ареалов по степени вскипания почв на открытой поверхности с привлечением дистанционной информации лучше всего проводить в рамках отдельного поля или группы схожих по яркости полей. Разброс полей по яркости на космическом снимке возникает из-за разной влажности почв, а также вида использования земель (богара, орошаемое поле). Яркости пикселей на снимке могут различаться даже у одного типа почв на разных полях. При таком дифференцированном подходе точность классификации почв по степени вскипания (нет, слабое, среднее и сильное) на космическом изображении достигает 0.75-0.90, в то время как при обработке всего участка целиком, возможно выделение карбонатных почв по вскипанию только с градацией сильное вскипание или нет вскипания с точностью 0.7.

Финансирование. Работа выполнена по теме государственных заданий № 0439-2022-0009 «Изучить трансформацию, эволюцию и деградацию почвенного покрова агроландшафтов на разных уровнях организации, включая внутриводораздельную неоднородность с использованием сочетания наземных обследований и цифровых технологий».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1. Антипов-Каратаев И.Н. 1953. Мелиорация солонцов в СССР. М.: Изд-во АН СССР. 563 с.
2. Водохранилища, пруды и озёра Волгоградской области. 2020 / Ред. А.С. Овчинников. Волгоград: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ. 352 с.
3. Волгоградская область: природные условия, ресурсы, хозяйство, население, геоэкологическое состояние. 2011. Волгоград: Перемена. 528 с.
4. Высокский Г.Н. 1915. Ергеня: культурно-фитологический очерк / Труды бюро по прикладной ботанике. Петроград: Типография К. Маттисена в Юрьеве. 331 с.
5. Горохова И.Н., Хитров Н.Б., Прокопьева К.О., Харланов В.А. 2018. Почвенный покров Светлоярской оросительной системы через полвека мелиоративных воздействий // Почвоведение. № 8. С. 1-18. [Gorokhova I.N., Khitrov N.B., Prokop'eva K.O., Kharlanov V.A. 2018. Soil Cover of the Svetloyarsk Irrigation System after 50 Years of Reclamation Practices // Eurasian Soil Science. Vol. 51. No. 8. P. 1-11.]
6. Горохова И.Н., Чурсин И.Н., Хитров Н.Б., Панкова Е.И. 2021. Распознавание сельскохозяйственных угодий по космическим снимкам // Экосистемы: экология и динамика. Т. 5. № 3. С. 5-33. [Gorokhova I.N., Chursin I.N., Khitrov N.B., Pankova Ye.I. 2021. Agricultural Lands Identification on the Satellite Imagery // Ecosystems: Ecology and Dynamics. Vol. 5. No. 3. P. 34-59.]
7. Дегтярева Е.Т., Жулидова А.Н. 1970. Почвы Волгоградской области.
1. Antipov-Karataev IN. Amelioration of solonchaks in the USSR [*Melioratsiya solontsov v SSSR*]. Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1953:563.
2. Reservoirs, ponds and lakes of the Volgograd region [*Vodokhranilishcha, prudy i ozyora Volgogradskoy oblasti*] / ed. A.S. Ovchinnikov. Volgograd: FGBOU VO Volgogradsky GAU, 2020:352.
3. Volgograd region: natural conditions, resources, economy, population, geocological condition [*Volgogradskaya oblast': prirodnye usloviya, resursy, hozyajstvo, naselenie, geoekologicheskoe sostoyanie*]. Volgograd: Peremena, 2011:528.
4. Vysotsky GN. Ergenia: a cultural and phytological essay [*Ergenya: kul'turno-fitologicheskij ocherk*] Proc. of the Bureau of Applied Botany [*Trudy byuro po prikladnoj botanike*]. Petrograd: Tipografiya K. Mattisena v Yur'yevе, 1915:331.
5. Gorokhova IN, Khitrov NB, Prokopyeva KO, Harlanov VA. Soil Cover of the Svetloyarsk irrigation system after 50 years of reclamation practices. *Eurasian Soil Science*. 2018;51(8):1-11.
6. Gorokhova IN, Chursin IN, Khitrov NB, Pankova YeI. Agricultural lands identification on the satellite imagery. *Ecosystems: Ecology and Dynamics*. 2021;5(3):34-59.
7. Degtyareva ET, Zhulidova AN. Soils of the Volgograd region [*Pochvy Volgogradskoy oblasti*]. Volgograd: Nizhne-Volzhskoye knizhnoye izd-vo, 1970:319.
8. Dima NA, Keller BA. In the semi-desert region: Soil and botanical studies in the

- Волгоград: Нижне-Волжское книжное изд-во. 319 с.
8. Димо Н.А., Келлер Б.А. 1907. В области полупустыни: Почвенные и ботанические исследования на юге Царицынского уезда Саратовской губернии. Саратов: Изд-во Саратовского губернского земства. С. 3-185.
 9. Зинченко Е.В., Горохова И.Н., Круглякова Н.Г., Хитров Н.Б. 2020. Современное состояние орошаемых почв юга Приволжской возвышенности // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. Вып. 104. М.: РАСХН. С. 68-109.
 10. Иванова Е.И. 1928. Очерк почв южной части Подуральского плато и прилегающих районов Прикаспийской низменности. Л.: Изд-во АН СССР. 320 с.
 11. Иванова Е.Н., Фридланд В.М. 1954. Почвенные комплексы сухих степей и их эволюция // Вопросы улучшения кормовой базы в степной, полупустынной и пустынной зонах СССР. М.-Л.: Изд-во АН СССР. С. 162-190.
 12. Классификация и диагностика почв России. 2004. Смоленск: Ойкумена. 342 с.
 13. Роде А.А. 1947. Почвообразовательный процесс и эволюция почв. М.: Географгиз. 142 с.
 14. Руководство по описанию почв. 2012. Рим. Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединенных наций. 101 с.
 15. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. 1954 / Ed. L.A. Richards USDA. Agriculture Handbook. No. 60. 160 p.
 16. Guidelines for Soil Description. 2006. 4th ed. Rome: FAO. 98 p.
 17. Tian F., Hou M., Qiu Y., Zhang T., Yuan Y. 2020. Salinity Stress Effects on Transpiration and Plant Growth under Different Salinity Soil Levels Based on south of Tsaritsynskyuyezd of Saratov province [*V oblasti polupustyni: Pochvennye i botanicheskie issledovaniya na yuge Caricinskogo uезда Saratovskoj gubernii*]. Saratov: Izd-vo Saratovskogo gubernskogo zemstva, 1907;3-185.
 9. Zinchenko EV, Gorokhova IN, Kruglyakova NG, Khitrov NB. The current state of irrigated soils in the south of the Volga Upland [*Sovremennoye sostoyaniye oroshayemykh pochv yuga Privolzhskoy vozvyshehnosti*] *Bulletin of the V.V. Dokuchaev Soil Institute*. 2020;104:68-109.
 10. Ivanova EI. Review of the soils of the southern part of the Pre-Ural Plateau and adjacent areas of the Caspian Lowland [*Oчерк почв yuzhnoy chasti Podural'skogo plato i prilegayushchikh rajonov Prikaspiyskoy nizmennosti*]. Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1928:320.
 11. Ivanova EN, Friedland VM. Soil complexes of dry steppes and their evolution [*Pochvennye komplekсы suhih stepей i ih evolyuciya*] Issues of improving the food supply in the steppe, semi-desert and desert zones of the USSR [*Voprosy uluchsheniya kormovoj bazy v stepnoj, polupustynnoj i pustynnoj zonah SSSR*]. Moscow-Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1954:162-190.
 12. Classification and diagnostics of soils in Russia [*Klassifikaciya i diagnostika pochv Rossii*]. Smolensk: Oikumena, 2004:342 p.
 13. Rode AA. Soil formation and evolution [*Pochvoobrazovatel'nyy protsess i evolyutsiya pochv*]. Moscow: Geografgiz, 1947:142.
 14. Guide to the description of soils [*Rukovodstvo po opisaniyu pochv*]. Rome: FAO, 2012:101.
 15. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils / ed. L.A. Richards. USDA. Agriculture Handbook. 1954;60:160.
 16. Guidelines for Soil Description. 4th ed.

- Thermal Infrared Remote (TIR) Technique // *Geoderma*. Vol. 357. P. 113961.
18. Wang F., Shi Z., Biswas A., Yang S., Ding J. 2020. Multi-algorithm Comparison for Predicting Soil Salinity // *Geoderma*. Vol. 365. P. 114211.
 19. Wang J., Ding J., Yu D., Ma X., Zhang Z., Ge X., Teng D., Li X., Liang J., Lizaga I., Chen X., Yuan L., Guo Y. 2019. Capability of Sentinel-2 MSI Data for Monitoring and Mapping of Soil Salinity in Dry and Wet Seasons in the Ebinur Lake Region, Xinjiang, China // *Geoderma*. Vol. 353. P. 172-187.
 20. Zarea E., Arshad M., Zhao D., Nachimuthu G., Triantafilis J. 2020. Two-dimensional time-lapse imaging of soil wetting and drying cycle using EM38 data across a flood irrigation cotton field // *Agricultural Water Management*. No. 241. P. 106383. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106383>
 17. Tian F., Hou M., Qiu Y., Zhang T., Yuan Y. Salinity Stress Effects on Transpiration and Plant Growth under Different Salinity Soil Levels Based on Thermal Infrared Remote (TIR) Technique. *Geoderma*. 2020;357:113961.
 18. Wang F., Shi Z., Biswas A., Yang S., Ding J. Multi-Algorithm Comparison for Predicting Soil Salinity. *Geoderma*. 2020;365: 114211.
 19. Wang J., Ding J., Yu D., Ma X., Zhang Z., Ge X., Teng D., Li X., Liang J., Lizaga I., Chen X., Yuan L., Guo Y. Capability of Sentinel-2 MSI Data for Monitoring and Mapping of Soil Salinity in Dry and Wet Seasons in the Ebinur Lake Region, Xinjiang, China. *Geoderma*. 2019;353:172-187.
 20. Zarea E., Arshad M., Zhao D., Nachimuthu G., Triantafilis J. Two-dimensional time-lapse imaging of soil wetting and drying cycle using EM38 data across a flood irrigation cotton field. *Agricultural Water Management*. 2020;241:106383. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106383>

UDC631.4

SATELLITE DATA TO HELP DISTINGUISH CALCAREOUS SOILS IN THE VOLGA-DON IRRIGATION SYSTEM, VOLGOGRAD REGION

© 2023. I.N. Gorokhova*, I.N. Chursin**, N.B. Khitrov*, N.K. Kruglyakova** ***

*V.V. Dokuchaev Soil Science Institute

Russia, 119017, Moscow, Pyzhevskiy Per., 7. E-mail: g-irina14@yandex.ru

**Scientific Geoinformation Center of the Russian Academy of Science

Russia, 119019, Moscow, p/o 168, Novyy Arbat Str., 11. E-mail: chursin.ivan93@gmail.com

***All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture

Russia, 400002, Volgograd, Timiryazeva Str., 9. E-mail: kruglyakova02032013@yandex.ru

Received December 16, 2022. Revised February 01, 2023. Accepted February 02, 2023.

In this study we substantiate the importance of identification of the areas with calcareous soils on the key plot of the “Oroshayemaya” experimental station that belongs to the Volga-Don irrigation system, Volgograd Region, using high-resolution satellite data (Pleiades). Carbonates in soils have both a positive and a negative impact; therefore, it is important to identify such soils. We identified calcareous areas on the satellite images, judging by the spots of various degrees of soil effervescence on the surface, caused by HCl solution, which, in its turn, was detected via the contact method in the cultivated fields. After that we determined a relationship between the spectral brightness of soil

effervescence in different channels of the satellite image and its degree. In order to do this, we took a sample of pixels from the images that corresponded to the patches of surface effervescence in the terrain that was previously used in the Random Forest algorithm to select classes in the image. The results showed that identification of the areas with surface layer of calcareous soils (soil effervescence), using satellite data, will be the most optimal if the field research and the survey data took place during the dry season of the year, i.e. from May to July.

For image processing the images of open fields should be used, while the undeveloped ones should be ignored. It is also necessary to exclude patches of meadow and meadow-chestnut soils from the sample, since they are usually located in depressions and can interfere with calculations due to the carbonates that flow in from the side. It is best to allocate the areas of calcareous soils within a single field or within a group of fields with similar brightness level; different brightness levels indicate different types of land use, such as dry farming and irrigated fields. Such a differentiated approach allows the precision of soils classification on the satellite image reach 0.75-0.90, based on the degree of their effervescence (no effervescence, weak, average, strong). However, when the entire key plot is processed, only the soils with “strong effervescence” or “no effervescence” can be identified with the precision of 0.7. The novelty of our work results lies in the substantiation of the possibility to reliably identify (while following all the requirements) calcareous soils on the ground surface by using high-resolution satellite data together with field survey data.

Keywords: calcareous soils, soil effervescence, degree of soil effervescence, open surface, satellite imagery, spectral brightness, classification precision, Volgograd Region.

Funding. This work was carried out for the state assignments No. 0439-2022-0009 “To Study the Transformation, Evolution and Degradation of the Soil Cover in the Agricultural Landscapes at Different Levels of Organization, Including the Heterogeneity of Their Fields and Using Ground Surveys along with Digital Technologies”.

DOI: 10.24412/2542-2006-2023-1-66-91

EDN: CPYWFH

==== **METHODS FOR STUDYING, MAINTANENCE AND PRESERVING ECOSYSTEMS** ====
AND THEIR COMPONENTS

UDC631.4

**SATELLITEDATA TO HELP DISTINGUISHCALCAREOUSOILS
IN THE VOLGA-DON IRRIGATION SYSTEM, VOLGOGRAD REGION**

© 2023.I.N. Gorokhova*, I.N. Chursin**, N.B. Khitrov*, N.K. Kruglyakova***

**V.V. Dokuchaev Soil Science Institute*

Russia, 119017, Moscow, PyzhevskiyPer., 7. E-mail: g-irina14@yandex.ru

***Scientific Geoinformation Center of the Russian Academy of Science*

Russia, 119019, Moscow, p/o 168, Novyy Arbat Str., 11. E-mail: chursin.ivan93@gmail.com

****All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture*

Russia, 400002, Volgograd, Timiryazeva Str., 9. E-mail: kruglyakova02032013@yandex.ru

Received December 16, 2022. Revised February 01, 2023. Accepted February 02, 2023.

In this study we substantiate the importance of identification of the areas with calcareous soils on the key plot of the “Oroshayemaya” experimental station that belongs to the Volga-Don irrigation system, Volgograd Region, using high-resolution satellite data (Pleiades). Carbonates in soils have both a positive and a negative impact; therefore, it is important to identify such soils. We identified calcareous areas on the satellite images, judging by the spots of various degrees of soil effervescence on the surface, caused by HCl solution, which, in its turn, was detected via the contact method in the cultivated fields. After that we determined a relationship between the spectral brightness of soil effervescence in different channels of the satellite image and its degree. In order to do this, we took a sample of pixels from the images that corresponded to the patches of surface effervescence in the terrain that was previously used in the Random Forest algorithm to select classes in the image. The results showed that identification of the areas with surface layer of calcareous soils (soil effervescence), using satellite data, will be the most optimal if the field research and the survey data took place during the dry season of the year, i.e. from May to July.

For image processing the images of open fields should be used, while the undeveloped ones should be ignored. It is also necessary to exclude patches of meadow and meadow-chestnut soils from the sample, since they are usually located in depressions and can interfere with calculations due to the carbonates that flow in from the side. It is best to allocate the areas of calcareous soils within a single field or within a group of fields with similar brightness level; different brightness levels indicate different types of land use, such as dry farming and irrigated fields. Such a differentiated approach allows the precision of soils classification on the satellite image reach 0.75-0.90, based on the degree of their effervescence (no effervescence, weak, average, strong). However, when the entire key plot is processed, only the soils with “strong effervescence” or “no effervescence” can be identified with the precision of 0.7. The novelty of our work results lies in the substantiation of the possibility to reliably identify (while following all the requirements) calcareous soils on the ground surface by using high-resolution satellite data together with field survey data.

Keywords: calcareous soils, soil effervescence, degree of soil effervescence, open surface, satellite imagery, spectral brightness, classification precision, Volgograd Region.

DOI: 10.24412/2542-2006-2023-1-92-114

EDN: CXMSUO

Land resources are the main natural resource of the Volgograd Region. Among the federal subjects of the Russian Federation, it is the third one, after the Altai Krai and the Orenburg Region, with the largest area of agricultural land (8.7 million ha). The Volgograd Region is a well-developed territory, and so the further expanse of agricultural lands is practically impossible there (Volgograd region ..., 2011). The main types of agricultural land appeared there in the early 1960s, after the development of virgin and fallow lands and the widespread irrigation, the latter being

especially extensive in the dry steppe zone.

In pre-revolutionary Russia, the geography of steppe soils was reconsidered in the works of such Russian researchers, as N.A. Dimo and B.A. Keller (1907), G.N. Vysotsky (1915), who showed the diversity of vegetation and soil covers, as well as the relationship between the soils and the microrelief. However, the main patterns of the natural state of soils in the dry steppe under the virgin soil conditions, as well as at the initial stages of their active agricultural development, were established by USSR researchers (Antipov-Karataev, 1953; Ivanova, 1928; Kovda, 1937; Rode, 1947; Ivanova and Friedland, 1954). Long-term studies were summarized by specialists from various organizations in the book “Soils of the Volgograd Region” by E.T. Degtyareva and A.N. Zhulidova (1970).

From the 1960s to the present days, more methods of soils study have been introduced to the classical ones, including remote sensing based on aerial and satellite imagery with high-resolution satellite data (Gorokhova et al., 2018; Wang F. et al., 2020; Wang J. et al., 2019), data from unmanned aerial vehicles (Tian et al., 2020), as well as the use of various remotely determined parameters, such as the indices of vegetation, salinity and soil moisture, surface temperature, topography. In addition, various models for calculating and soil mapping are used, the most popular being Random Forest (RF), multiple linear regression (MLR), support vector machine (SVM), and artificial neural networks (ANN; Gorokhova et al., 2021; Tian et al., 2020; Wang F. et al., 2020; Zarea et al., 2020). However, there is no algorithm that works perfectly for the entire data set; therefore, one algorithm that suits specific goals of the research in the study area must be chosen every time. This is why the interpretation of remote data requires a mandatory and thorough study of the area with the help of field work and laboratory analyzes of soil samples (Gorokhova et al., 2021; Wang F. et al., 2020).

In the 1950s and 1960s large irrigation systems were built in the Volgograd Region. However, by the 1990s improper exploitation of irrigated lands raised the groundwater level, causing flooding and creating niduses of secondary salinization, as well as soils alkalization. As a result, most irrigated lands were abandoned and turned into perennial fallows, while the rest of the lands were repurposed for dry farming, and in the remaining areas the type of irrigation was switched, mainly from the surface irrigation to sprinkling or drip irrigation. Then, during 1990-2010, the groundwater level decreased down to 5 m, and the partial desalination and alkalization began in the secondarily saline soils of the irrigated lands. Due to these phenomena, the accumulation of carbonates in the surface horizon was especially pronounced. Since the presence of carbonates has a significant effect (both positive and negative) on soil properties, it is an important task to detect and identify calcareous spots in the irrigated fields.

The aim of our article is to use satellite imagery in order to determine carbonate spots of surface soil effervescence in the fields of the “Oroshayemyy” key plot.

Materials and Methods

The object of our study is the Volga-Don irrigation system, located in the dry steppe zone of the Volgograd Region, to the west of Volgograd, in the south of the Volga Upland that gently descends to the Volga-Don Canal. We conducted our research in the territory of the federal state budgetary institution “Experimental Station ‘Oroshayemaya’” (hereinafter referred to as the experimental station “Oroshayemaya”), located in the center of the Volga-Don irrigation system (Fig. 1).

The experimental station “Oroshayemaya” was built in the south of the Volga Upland which is stretched along the right bank of the Volga River. Its territory is a plateau, dissected by numerous river valleys, ravines and gullies. It is slightly convex and gradually going down to the edges of the valleys. To the south of Volgograd it merges into the Yergeni Upland. Its relief has formed under the intense manifestation of the latest tectonic uplifts and erosions.

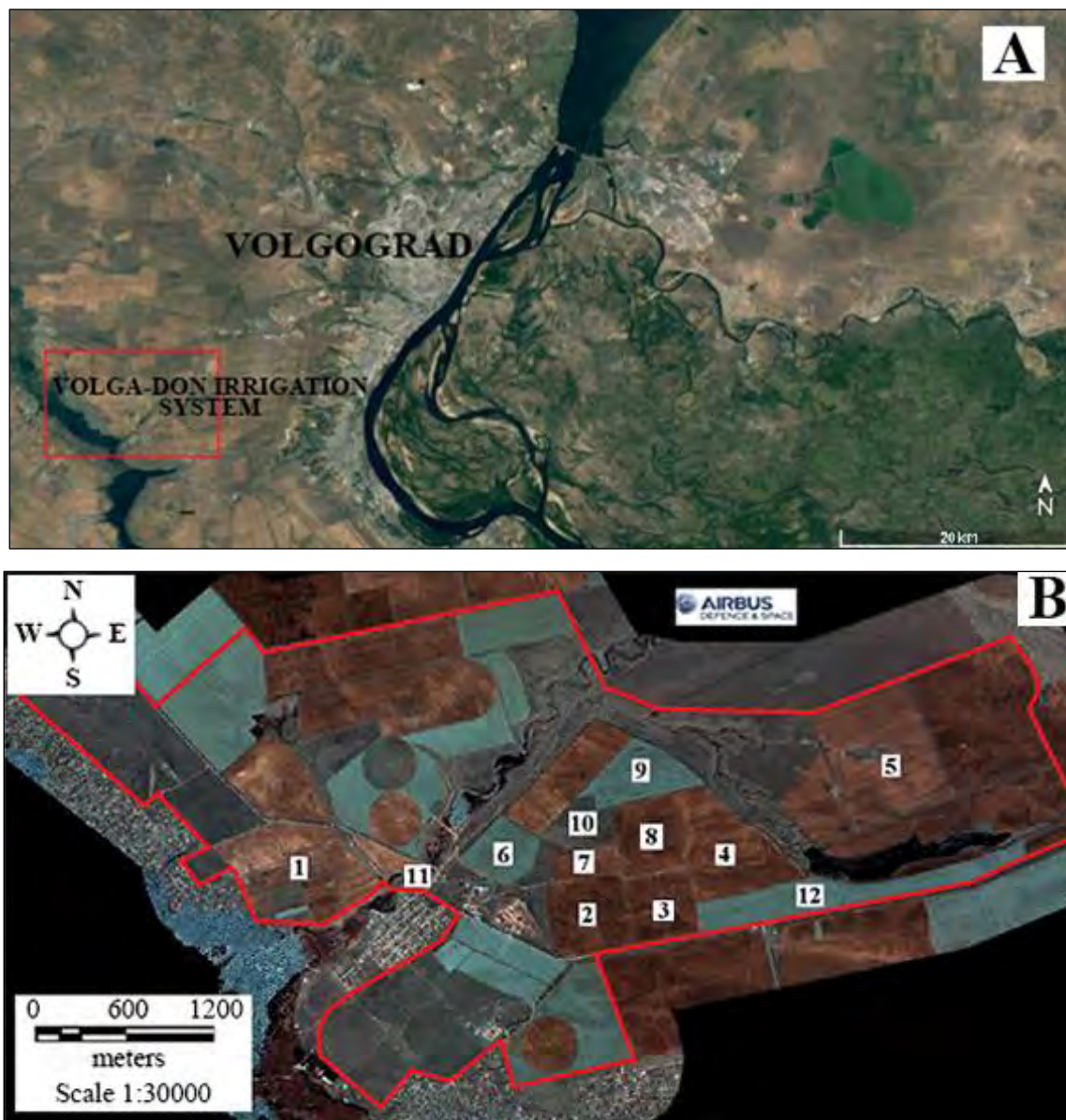


Fig. 1. A – Volga-Don irrigation system on a Google.Earth satellite image, 25/05/2021, B – territory and fields of the key plot of the “Oroshayemaya” experimental station in the Volgograd Region, taken from the Pleiades satellite, 25/04/2020.

During the Pliocene this part of the Volga Upland was completely covered by the Yergeni deposits, formed by sands with layers and lenses of clay and sandstone, which were denuded at the end of the epoch and in the Quaternary. A cover of Yergeni sediments as deep as 30-40 m, as well as the features of a Pliocene accumulation is currently preserved there. The areas near the watersheds are composed of Yergeni sands, covered by the red-brown Scythian clays of 3-50-meter depth, with undetermined genesis and age (Upper Neogene, Lower Quaternary), as well as a mass of Quaternary loess-like loams reaching down to 50-70 m in some places, usually, with low mineralization and sodium bicarbonate composition (Volgograd region ..., 2011).

The south of the Volga Upland is a subzone of chestnut soils. There, the soil-forming rocks are very diverse, giving the soils profile and properties a variable structure. The main forming rocks are Yergeni sands, loess-like loams, and sometimes red-brown Scythian clays. The soil cover is

represented by various combinations, such as chestnut non-solonetzc soils in the areas near the watersheds; solonetzic complexes with different proportions of chestnut soils and solonetzes; automorphic semihydromorphic and hydromorphic solonetzes; combinations and patches of meadow-chestnut and meadow soils of various salinity and alkalinity; alluvial soils of the river valleys (Degtyareva, Zhulidova, 1970; Zinchenko et al., 2020).

The experimental station takes water for irrigation from the Bereslavsky and Varvarovsky reservoirs that belong to the Volga-Don Canal named after V.I. Lenin (Reservoirs, ponds and lakes ..., 2020). In the sub-arid conditions high consumption of water due to surface evaporation from the water bodies increases water mineralization (Table 1).

Table 1. Chemical composition of the water from the Bereslavsky (1) and Varvarovsky (2) irrigation reservoirs of the Volga-Don Canal, August 2020.

Water reservoir	pH	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	M, g/L	SAR
		mmol(equiv)/L								
1	8.1	3.6	4.4	6.1	4.8	2.5	7.0	0.11	0.95	3.7
2	8.2	2.7	3.9	5.9	5.0	1.8	6.0	0.12	0.84	3.2

Notes to Table 1: M–water mineralization, SAR– sodium adsorption ratio that estimates the alkalization risks, $SAR = \frac{C_{Na}}{\sqrt{\frac{(C_{Ca}+C_{Mg})}{2}}}$, where C_{Na} , C_{Ca} , C_{Mg} are a concentration of Na⁺, Ca²⁺ and Mg²⁺ ions, mmol(equiv)/L (Richards, 1954).

The predicted content of exchangeable sodium in the irrigated soils, when the water values are as shown in Table 1, but the concentration of water in the soils is not taken into account, is 5.1 and 4.4% of the cation exchange capacity. In reality, a constant irrigation carried out with low-salt reservoir water that has an excessive concentration of sodium ions enhances the process of secondary soil alkalization, which is more than 5% of the cation exchange capacity, when estimated by the content of exchangeable sodium (Fig. 2).

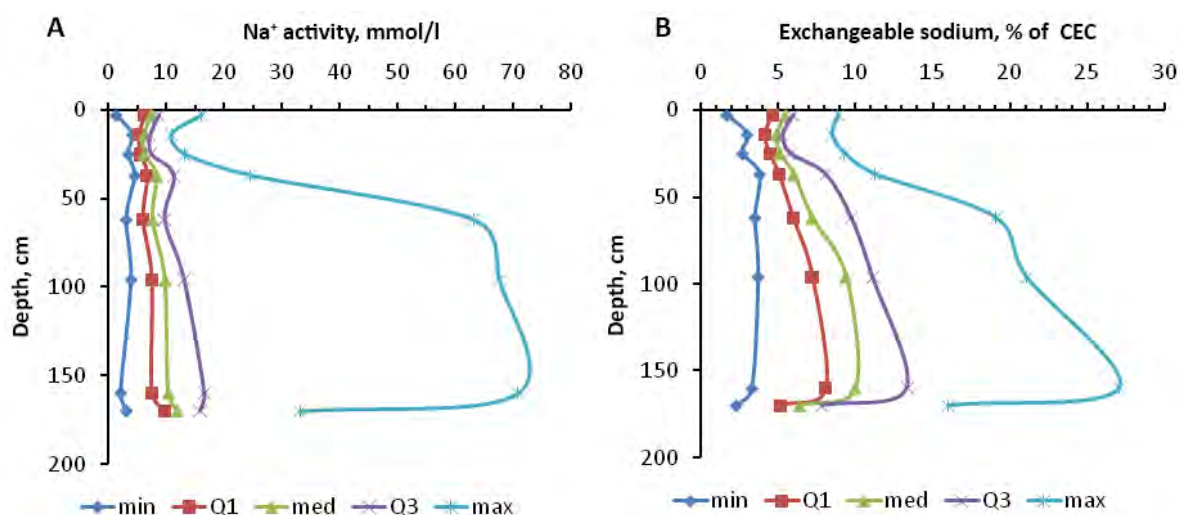


Fig. 2. Distribution of non-parametric statistical indices in a soil profile: A – activity of Na⁺ ions in pastes with a moisture content of 40% (wt.), B – exchangeable sodium. Legend: min – minimum, med – median, max – maximum, Q1 and Q3 – lower and upper quartiles; sample size is 40 profiles.

The quality of irrigation water and sprinklers, combined with the mesorelief of the territory, have predetermined the development of such degradation processes in the irrigated soils as secondary alkalization, formation of anthropogenic lumpiness, irrigation erosion, and carbonate enrichment in the surface horizons. However, secondary alkalization, while stimulating the development of irrigational erosion, leads to periodic plowing of the lower carbonate horizons and forming of extra patchiness in the field due to carbonates in its top layer. All of this leads to an inhomogeneous pattern of the soil surface that is seen on the satellite images.

Main Theses of the Methodology

The studied key area is the “Oroshayemaya” experimental station, which consists of several fields. We studied a total of 12 fields (Fig. 1B, fields No. 1-12), where the main soil profiles, with description and soil samples, and the test plots for soil effervescence were set along the catena. During our study some of the fields were irrigated (No. 2, 3, 8, 12, southern part of field No. 1), some were repurposed for dry farming after irrigation (No. 4, 5, 6, 9, middle part of field No. 1), and some were always used for dry farming (No. 10, northern part of field No. 1).

Carbonate content is an important feature of soils. Those that have 1% and more alkaline earth carbonates in any of their horizons are classified as carbonate-containing soils (Classification ..., 2004). Calcium carbonate in soils strongly affects many of their properties, such as alkalinity, composition of exchangeable cations, and physical properties. It is possible to detect and roughly determine the content of carbonates out in the field when carbon dioxide is being released after soil's interaction with a 10% solution of HCl, the process known as soil effervescence (Guidelines ..., 2006; Guide ..., 2012). While looking for carbonates in the field, we assessed the degree of effervescence according to the following gradation: absence (no effervescence), weak, average, strong, and local. The routes of testing plots for surface soil effervescence are shown in Figure 3.

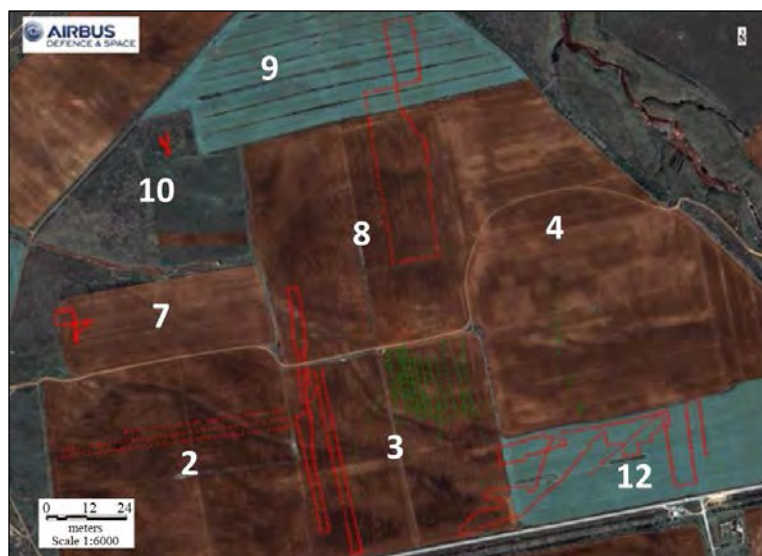


Fig. 3. Routes where the surface soil effervescence was determined on the cultivated fields, using the 10% solution of HCl, in the territory of the “Oroshayemaya” experimental station, marked on a fragment of the Pleiades satellite image, 25/04/2020.

Then, in order to understand whether the degree of effervescence changes depending on its spectral brightness, we established a relationship between the brightness in different channels (B1-B4) of the Pleiades satellite image, taken on 25/04/2020, by the spots with soil effervescence, and the surface effervescence degree. For that we took a sample of pixels from the images that corresponded to the sampling plots in the open areas. This sample became a basis for a table shown in Figure 4.

1	B1	B2	B3	B4	Class
2	747.0	1026.0	1417.0	2075.0	1
3	777.0	1027.0	1418.0	2108.0	2
4	858.0	1154.0	1594.0	2361.0	2
5	787.0	1032.0	1435.0	2069.0	2
6	811.0	1088.0	1471.0	2131.0	2
7	864.0	1194.0	1631.0	2406.0	2
8	825.0	1099.0	1470.0	2187.0	3
9	865.0	1164.0	1604.0	2402.0	3
10	816.0	1092.0	1511.0	2168.0	2
11	854.0	1168.0	1548.0	2468.0	2
12	801.0	1095.0	1506.0	2242.0	5
13	844.0	1099.0	1479.0	2203.0	4
14	816.0	1102.0	1492.0	2218.0	3
15	779.0	998.0	1285.0	1911.0	1
16	824.0	1059.0	1365.0	2015.0	5
17	781.0	1015.0	1291.0	1905.0	4
18	758.0	1010.0	1362.0	2019.0	5
19	777.0	1017.0	1305.0	1918.0	1
20	813.0	1035.0	1329.0	1985.0	5
21	737.0	930.0	1213.0	1782.0	5
22	751.0	963.0	1235.0	1834.0	4
23	809.0	1050.0	1379.0	2021.0	4

Fig. 4. An example of a table of brightness of the B1-B4 channels and soil effervescence degree at the sampling plots from the Pleiades satellite image, taken on 25/04/2020. *Legend:* 1-5 in the “Class” column – the degree of soil effervescence, where 1 means no effervescence, 2 – weak, 3 – average, 4 – strong, 5 – local.

In B1-B4 columns the brightness of the pixels is given in the Blue, Green, Red and NIR channels; the Class column indicates the degree of effervescence at the corresponding plot.

Then we made scatterplots of pixel brightness for all channels.

Results and Discussion

For a preliminary assessment of the possible relationship between the effervescence degree and the pixel values from our sample, we built two-dimensional scatterplots, with the pixel values in each of the channels shown along the axes (columns B1-B4). A total of 6 scatterplots were built for each combination of channels: B1-B2, B1-B3, B1-B4, B2-B3, B2-B4, B3-B4. If individual classes in such scatterplots, highlighted in color, are grouped together instead of mixing with the others, then the sample has a good linear distinguishability. In our case, however, all classes were mostly mixed, meaning a poor distinguishability by the effervescence degree in all 4 channels (Fig. 4).

We used the Random Forest algorithm to statistically confirm poor or acceptable pixel distinguishability and the possibility to distinguish classes for all channels. For the algorithm training, 1/3 of the sample was left for testing and therefore was not used in training. The resulting statistical model was evaluated according to the following parameters.

1. An *error matrix* is usually used to classify an imbalanced data set. It compares the actual values with the ones predicted by the machine-learning model. In the error matrix the diagonal shows those pixels that are correctly assigned to the distinguished classes according to the degree of soil effervescence, where 1 means no effervescence, 2 – weak effervescence, 3 – average, 4 – strong, 5 – local, i.e. where the predicted values correspond to the actual ones. Anything above those is a false positive result, while anything below is a false negative result. The matrix in Figure 5 demonstrates that classes 2, 3 and 5 from the data set for the key plot with an open soil surface are not quite distinguished, while only half of the cases are correctly identified for the classes 1 and 4 (Fig. 6, Table 2).

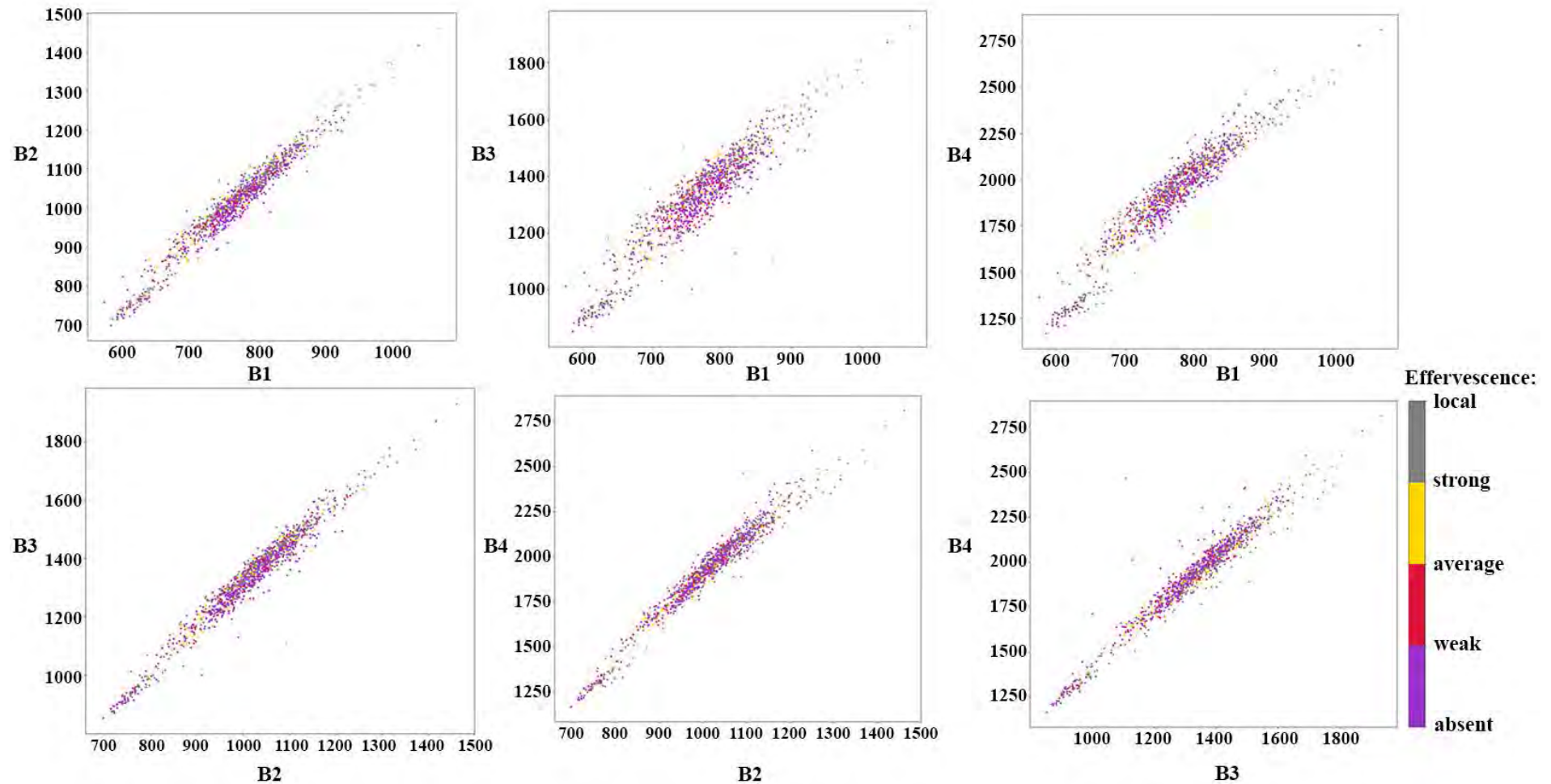


Fig. 5. Scatterplots of pixel brightness and soil effervescence degree (highlighted in color) at the sampling plots of the key area with an open soil surface in the Blue (B1), Green (B2), Red (B3) and NIR (B4) channels, based on a Pleiades satellite image taken on 25/04/2020.

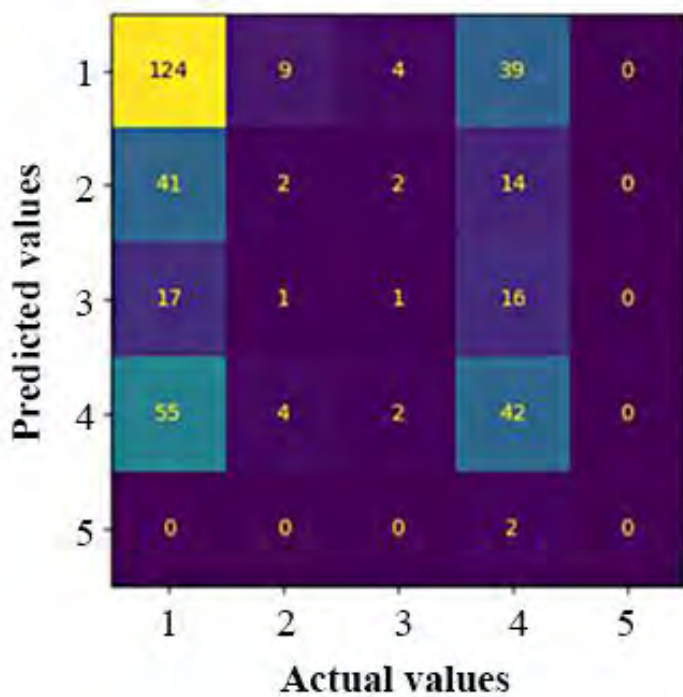


Fig. 6. Error matrix of the classified image of the key area for surface soil effervescence degree, based on the Pleiades satellite image, 25/04/2020. Legend: 1 – no effervescence, 2 – weak effervescence, 3 –average, 4 – strong, 5 – local.

Table 2. Statistical indices of the classification of the key area image, according to the degree of surface soil effervescence, using the Random Forest and the Pleiades satellite image, 25/04/2020.

Indices (metrics)	Precision	Recall	F-score	Sample
1 – no effervescence	0.52	0.7	0.6	176
2 – weak effervescence	0.12	0.03	0.05	59
3 – average effervescence	0.11	0.03	0.05	35
4 – strong effervescence	0.37	0.41	0.39	103
5 – local effervescence	0	0	0	2
Percentage of correct answers	–	–	0.58	379
Macro-averaging	0.58	0.58	0.58	379
Weighted arithmetic mean	0.58	0.58	0.58	379

2. *Cross-validation* is a method of model evaluation. For that some partitions from the original sample are divided into two subsamples, the training one and the control one. For each partition the training subsample is used to set a certain algorithm, and then its average error is estimated using the objects from the control subsample. A cross-validation estimation is the mean value of the error in the control subsamples, calculated for all partitions. The results of cross-validation applied to the data set for the entire key plot, where the sample was divided into 5 parts, showed the precision of this classification as follows: 0.430, 0.401, 0.441, 0.498, 0.507.

3. *Precision* is the percentage of correct answers given by the model within one class relative to all objects assigned to the said class.

4. *Recall* is the percentage of true positive classifications. It shows what percentage of objects of the positive class was predicted correctly.

5. *F-score*. It is impossible to actually achieve both maximum precision and recall, therefore, a

certain balance should be found, a parameter to combine information about the precision and recall of the algorithm. This parameter is the F-score, independent from the ratio of classes, and therefore applicable when the samples are unbalanced. F-score is the harmonic mean between precision and recall; if they tend to zero, it tends to zero as well.

Macro-averaging and weighted arithmetic average characterize the entire data set.

Classification indices (metrics) of the pixels sample in the image that correspond to the sampling plots with soil effervescence in the key area are listed in Table 2.

These calculations show that the precision of classification by the degree of surface soil effervescence in the image of our key area does not exceed 0.58, therefore there is no sense to use this classified image.

In the next approach a more balanced classification of the sample by the generalized characteristic of soil effervescence (present/absent) is used. In the Figure 7 the two-dimensional scatterplots are shown that allow us evaluate the possibility of distinguishing classes for all channels.

Figure 7 shows that points from different classes are mixed together, which indicates that the sample differentiates poorly by 2 classes (present/absent) in all channels in terms of the surface effervescence degree.

The error matrix and statistical indicators (metrics) in Figure 8 and Table 3 show that even with a more balanced sample (192/187 pixels) the precision of image classification into 2 classes by surface effervescence also did not exceed 0.58.

The further sample processing was carried out differently. The brightness values of meadowish- and meadow-chestnut soils were removed from it, which may have surface effervescence due to alluvium of carbonate material from neighboring areas, but which have a darker tone in the image due to higher humus content, interfering with the calculations.

Values with local, weak and average effervescence were excluded, while those with strong and no effervescence were considered. Then we determined the spectral brightness of the points of another image, the RGB one obtained from Yandex services (Pleiades, 28/06/2020) for a warm and dry period of July 2020. The result is the error matrix and statistical parameters which can be seen in Figure 9 and Table 4.

The precision of 2-class classification (strong effervescence/no effervescence) was 0.7. Therefore, it is better to use an image taken during a drier period to prevent soil moisture from masking the pixels brightness and to exclude the meadowish- and meadow-chestnut soils from the sample as the darker ones in the image, and use for the further analysis only the values from the points with strong effervescence and without it.

While analyzing the images, we noticed that the fields with open surface had different brightness ranges in the 4 channels. So, we assumed that the fields in the study area could be divided into groups with similar ranges and classified by groups or by individual fields within each group. When partitioned like that, the classification precision of surface effervescence should improve significantly.

For this approach we used a Pleiades image taken on 25/04/2020, and excluded fields both with the vegetating crops and located outside the range of agricultural development. Next, we made scatterplots (Fig. 10), with the colors showing the same brightness ranges of the fields (A) and the different ones (B). Based on these scatterplots, we identified the following groups of fields with similar brightness: 1) fields No. 1, 5; 2) fields No. 2, 3, 8; 3) fields No. 4 and 7. We excluded fields No. 6, 9 and 12, because at that moment they had vegetating crops, field No. 10 because it was a fallow, and field No. 11 because it was a gully valley (Fig. 1).

We have created a program for automated interpretation of images to classify soils with open surface according to the degree of their effervescence. The algorithm of this program is shown in Figure 11. The space image processing was performed as described further below.

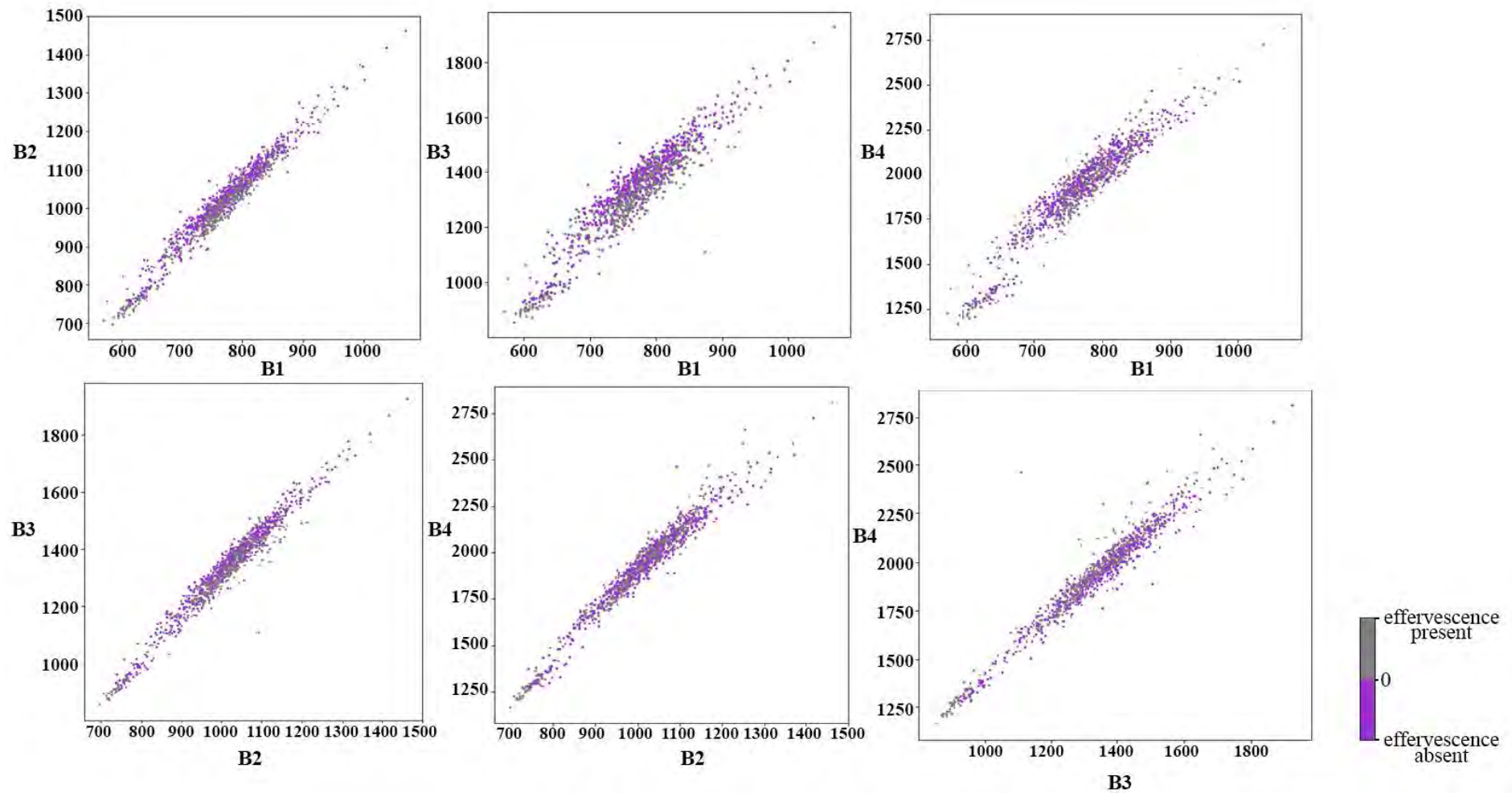


Fig. 7. Scatterplots of pixel brightness and soil effervescence (present/absent) at the sampling plots in the key area with an open soil surface, presented in the Blue (B1), Green (B2), Red (B3) and NIR (B4) channels and compiled using the Pleiades satellite image, 25/04/2020.

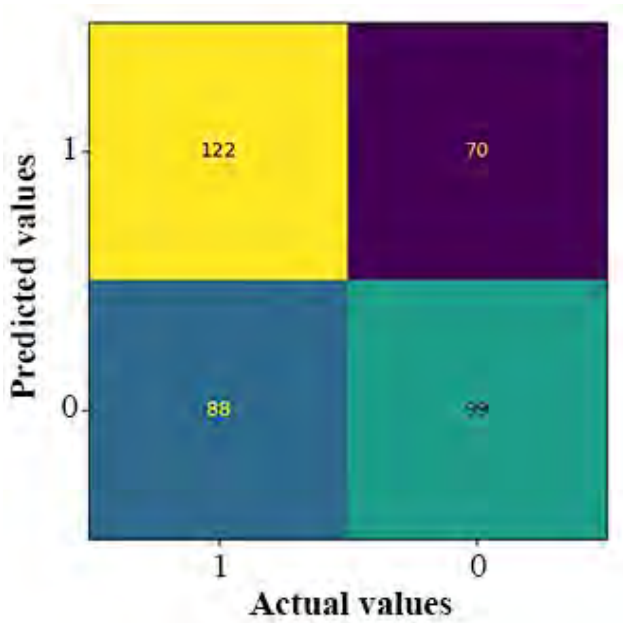


Fig. 8. Error matrix of the classified image of the key area for surface soil effervescence (present/absent) based on the Pleiades satellite image, 25/04/2020.

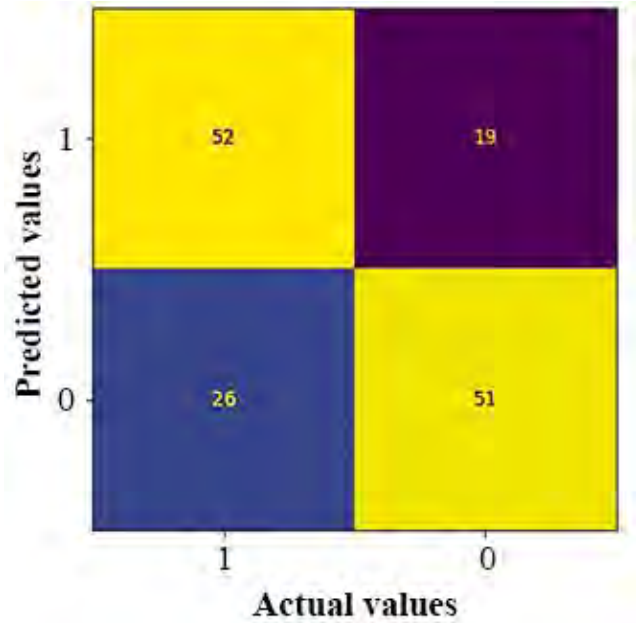


Fig. 9. Error matrix of the classified image of the key area for surface soil effervescence (strong/absent) based on the Pleiades high-resolution satellite image, 28/06/2020.

Table 3. Statistical indices of the image classification of the key area for surface soil effervescence (present/absent) based on the Random Forest algorithm and the Pleiades satellite image, 25/04/2020.

Indices (metrics)	Precision	Recall	F-score	Sample
1 – effervescence is present	0.58	0.64	0.61	192
0 – effervescence is absent	0.59	0.53	0.56	187
Percentage of correct answers	–	–	0.58	379
Macro-averaging	0.58	0.58	0.58	379
Weighted arithmetic mean	0.58	0.58	0.58	379

Table 4. Statistical indices of the image classification of the key area for surface soil effervescence (strong/absent) based on the Random Forest algorithm and the Pleiades satellite image, 28/06/2020.

Indices (metrics)	Precision	Recall	F-score	Sample
1 – strong effervescence	0.67	0.73	0.7	71
0 – no effervescence	0.73	0.66	0.69	77
Percentage of correct answers	–	–	0.7	148
Macro-averaging	0.7	0.7	0.7	148
Weighted arithmetic mean	0.7	0.7	0.7	148

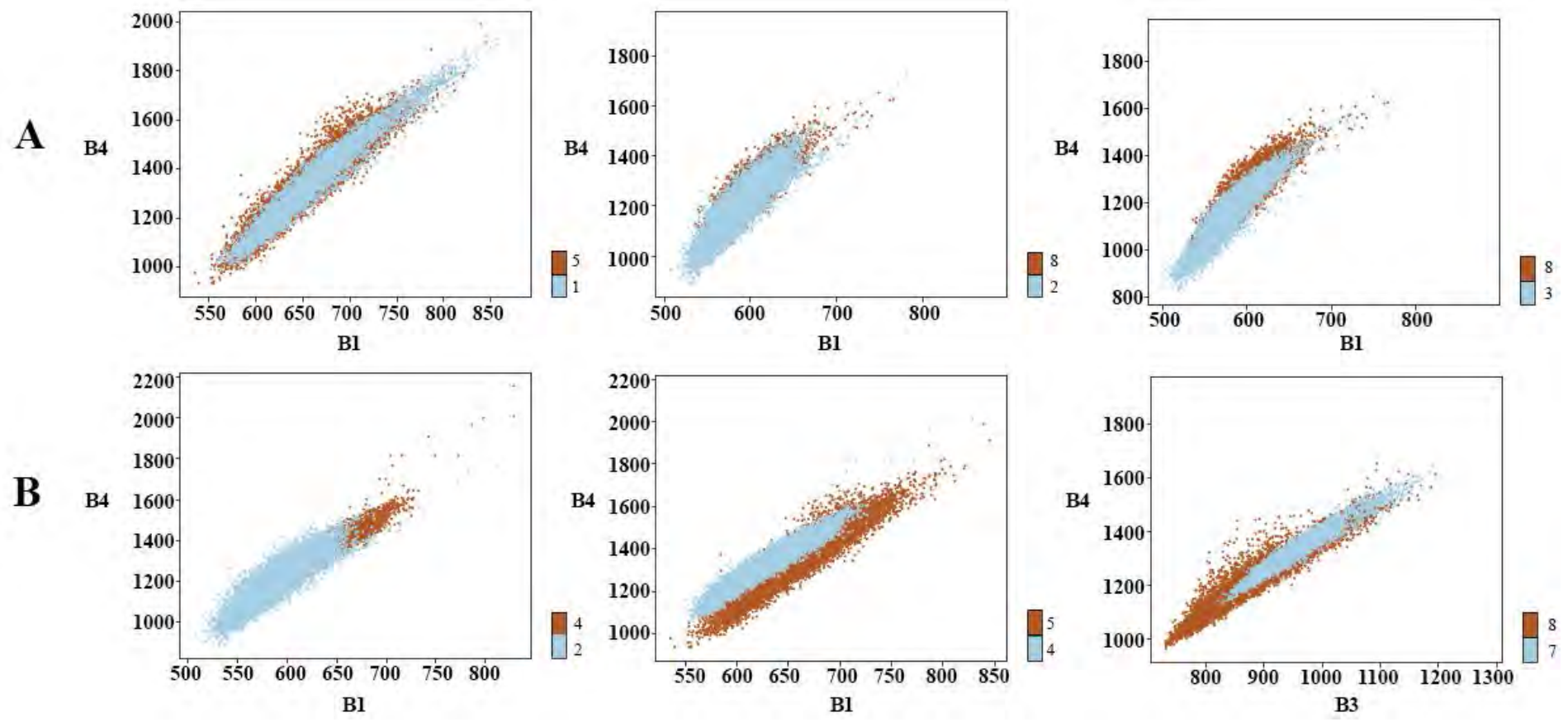


Fig. 10. Fields grouped according to their spectral brightness. *Legend:* A – similar brightness, B – different brightness, 1-8 – No. of fields.

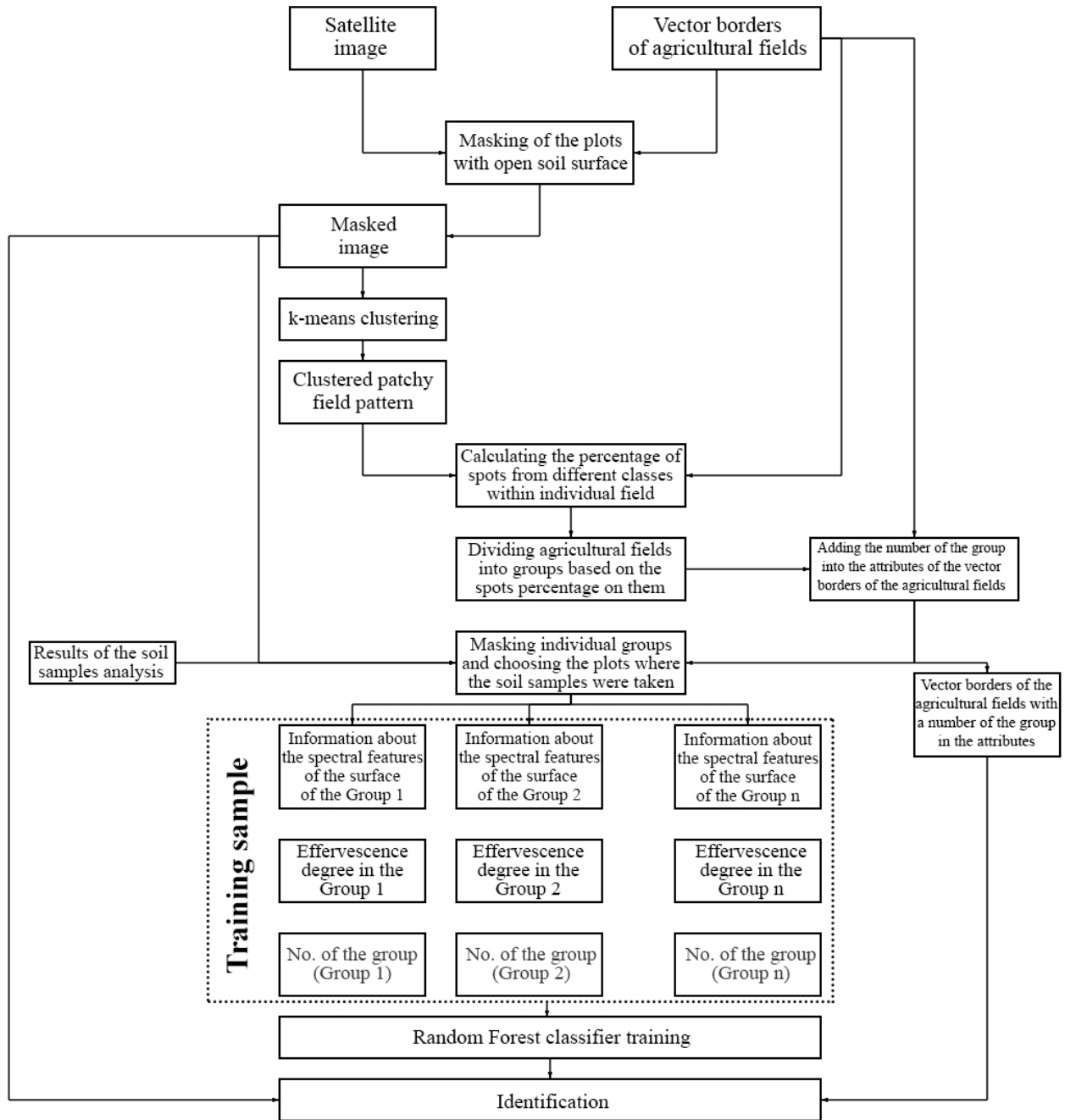


Fig. 11. Stages of auto-interpretation of a space image to classify the soils with an open surface according to their effervescence degree.

The input of the satellite image is masked to have only those fields that have an open surface and vector borders. Next, a k-means algorithm auto-clustering is used to group those fields, after which the groups of fields (or individual field) are processed individually by Random Forest, taking into account the collected field data.

Results of processing satellite images with groups of fields and individual fields. Further below we consider the results of classifying the group of fields No. 1 and 5 into 4 classes, according to the degree of their surface effervescence and using the Random Forest algorithm, where 1 is absent effervescence, 2 – weak effervescence, 3 – average, and 4 – strong. To do this we used the spectral brightness both at the sampling plots and at the additional plots around, using a sliding window

algorithm. It gave us the error matrix and statistical indices (metrics), shown in Figure 12 and Table 5. As a result of cross-validation, during which the sample was divided into 4, the classification precision was 0.881, 0.911, 0.886, and 0.928 respectively. The overall classification coefficient was 0.91 (Table 5).

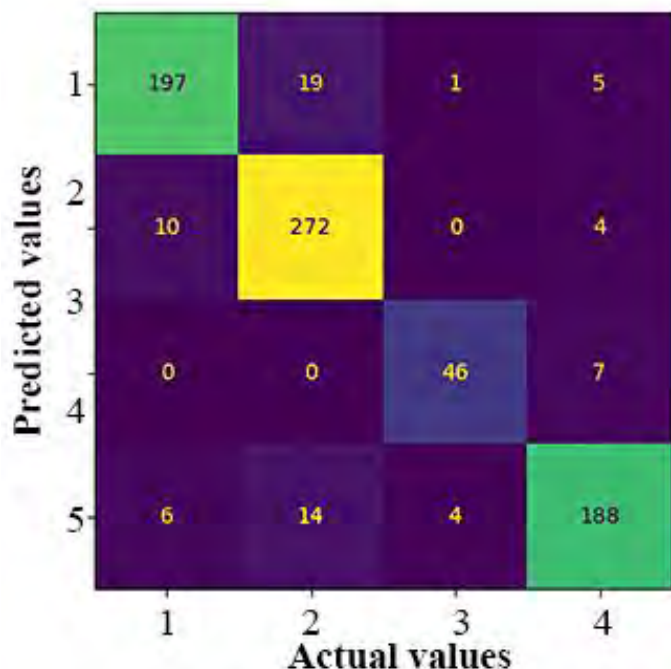


Fig. 12. Error matrix of the classified image of the fields No. 1 and 5 for their surface soil effervescence (4 classes) based on the Pleiades high-resolution satellite image, 25/04/2020.

Table 5. Statistical indices of the image classification of the fields No. 1 and 5 for their surface soil effervescence (4 classes) based on the Random Forest algorithm and the Pleiades satellite image, 25/04/2020.

Indices (metrics)	Precision	Recall	F-score	Sample
1 – no effervescence	0.92	0.89	0.91	222
2 – weak effervescence	0.89	0.95	0.92	286
3 – average effervescence	0.90	0.87	0.88	53
4 – strong effervescence	0.92	0.89	0.90	212
Percentage of correct answers	–	–	0.91	773
Macro-averaging	0.91	0.90	0.90	773
Weighted arithmetic mean	0.91	0.91	0.91	773

Visualization of soil classification on the Pleiades satellite image, taken on 25/04/2020, was carried out according to the surface effervescence degree of the group consisting of fields No. 1, and 5 is shown in Figure 13.

After the group of fields No. 2, 3, 8 was analyzed, the classification precision was 0.54, which is not enough, and therefore, each field from this group was considered separately.

The results of statistical processing for field No. 2 that used Random Forest and spectral brightness both at sampling plots and additional plots around are presented in the error matrix and

indices (metrics) in Figure 14 and Table 6. As a result of cross-validation, during which the sample was divided into 4, the classification precision was 0.731, 0.719, 0.761, and 0.753. The overall classification coefficient was 0.75.

Visualization of soil classification on the Pleiades satellite image, taken on 25/04/2020, was carried out according to the surface effervescence of the field No. 2, and is shown in Figure 15.

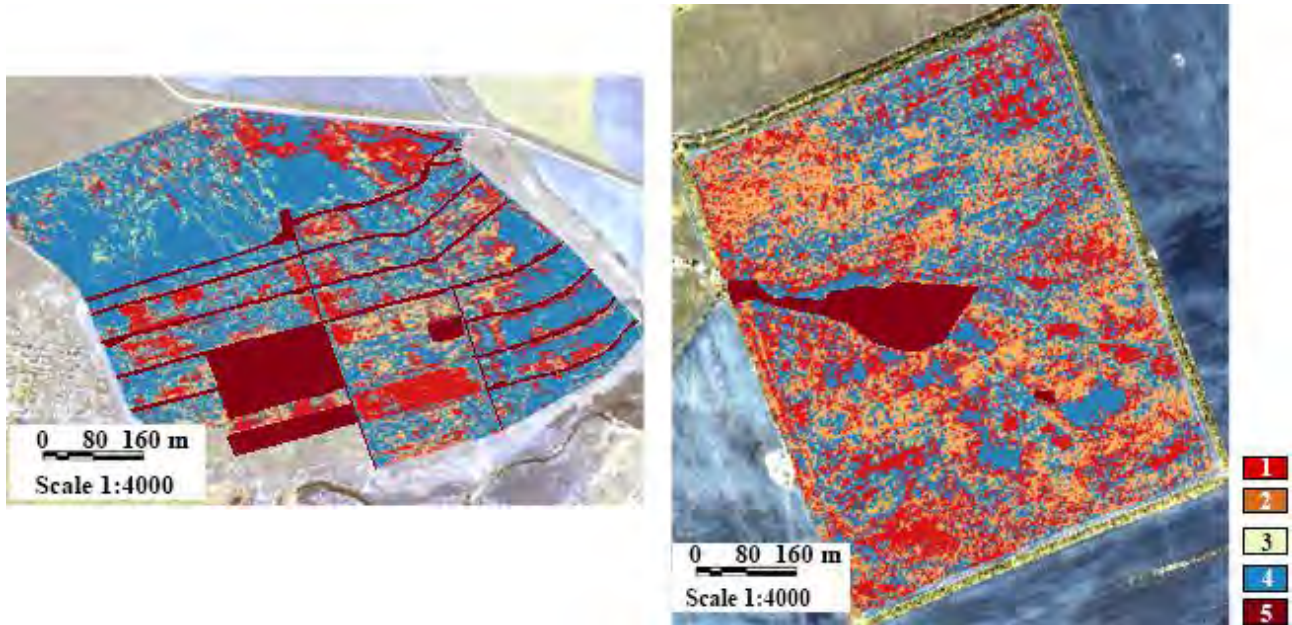


Fig. 13. Classification results for the fields No. 1 and 5, according to the degree of their surface effervescence, using the Random Forest and the Pleiades satellite image, 25/04/2020. *Legend:* 1 – no effervescence, 2 – weak effervescence, 3 –average effervescence, 4 – strong effervescence, 5 – canals, roads, hollows, parts of the fields with agricultural crops.

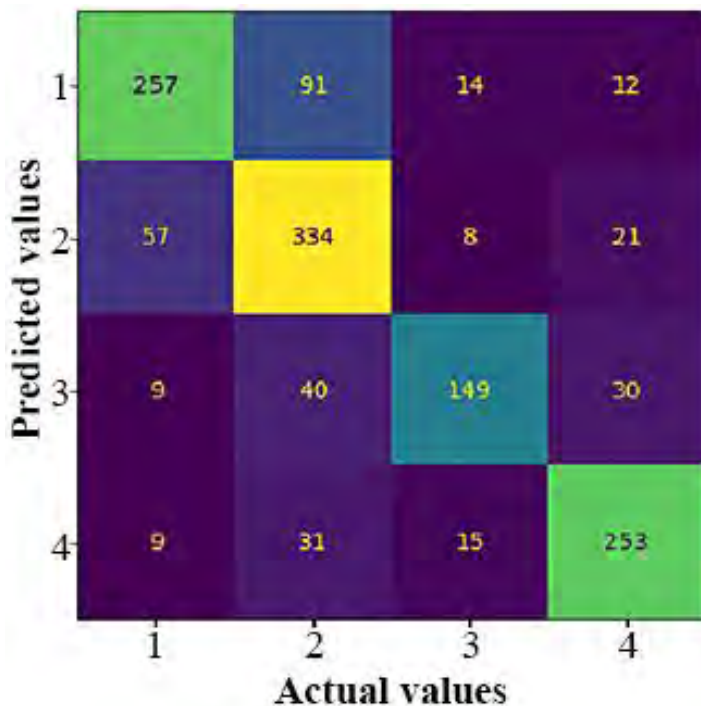


Fig. 14. Error matrix of the classified image of the field No. 2 for its surface soil effervescence (4 classes) based on the Pleiades high-resolution satellite image, 25/04/2020.

Table 6. Statistical indices of the image classification of the field No. 2 for its surface soil effervescence (4 classes) based on the Random Forest algorithm and the Pleiades satellite image, 25/04/2020.

Indices (metrics)	Precision	Recall	F-score	Sample
1 – no effervescence	0.77	0.69	0.73	374
2 – weak effervescence	0.67	0.80	0.73	420
3 – average effervescence	0.80	0.65	0.72	228
4 – strong effervescence	0.80	0.82	0.81	308
Percentage of correct answers	–	–	0.75	1330
Macro-averaging	0.76	0.74	0.75	1330
Weighted arithmetic mean	0.75	0.75	0.75	1330

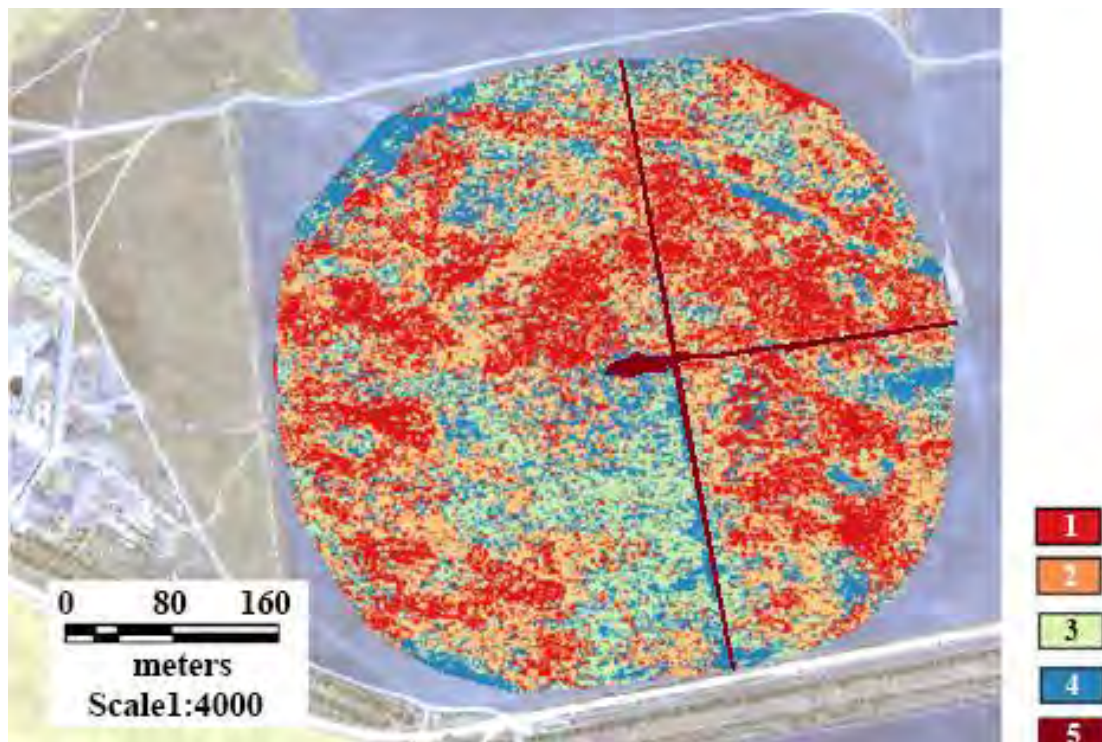


Fig. 15. Classification results for the field No. 2, according to the degree of its surface effervescence, using the Random Forest and the Pleiades satellite image, 25/04/2020. *Legend:* 1 – no effervescence, 2 – weak effervescence, 3 – average effervescence, 4 – strong effervescence, 5 – canals, roads, hollows.

The error matrix and statistical indices (metrics) for the field No. 8 are shown in Figure 16 and Table 7. As a result of cross-validation, during which the sample was divided into 4, the classification precision was 0.767, 0.769, 0.756, and 0.774. The overall classification coefficient was 0.77.

Visualization of soil classification on the Pleiades satellite image, taken on 25/04/2020, was carried out according to the surface effervescence of the field No. 8, and is shown in Figure 17.

We had the most field routes in the field No. 3 to determine the surface soil effervescence

(Fig. 2). However, it should be noted that up to 1/3 of the field was occupied by meadowish- and meadow-chestnut soils. Further below we describe the processing without excluding these soils from our sample in order to determine their influence on the classification precision.

The error matrix and indices (metrics) for the field No. 3 are shown in Figure 18 and Table 8. As a result of cross-validation, during which the sample was divided into 4, the classification precision was 0.625, 0.613, 0.608, and 0.625. The overall classification coefficient was 0.65.

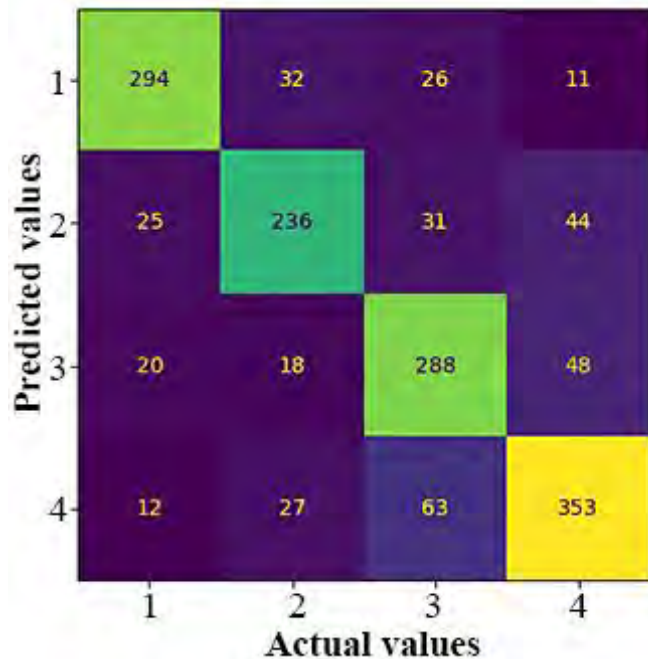


Fig. 16. Error matrix of the classified image of the field No. 8 for its surface soil effervescence (4 classes) based on the Pleiades high-resolution satellite image, 25/04/2020.

Table 7. Statistical indices of the image classification of the field No. 8 for its surface soil effervescence (4 classes) based on the Random Forest algorithm and the Pleiades satellite image, 25/04/2020.

Indices (metrics)	Precision	Recall	F-score	Sample
1 – no effervescence	0.84	0.81	0.82	363
2 – weak effervescence	0.75	0.70	0.73	336
3 – average effervescence	0.71	0.77	0.74	374
4 – strong effervescence	0.77	0.78	0.77	455
Percentage of correct answers	–	–	0.77	1528
Macro-averaging	0.77	0.76	0.77	1528
Weighted arithmetic mean	0.77	0.77	0.77	1528

The classification precision of the field No. 3 turned out to be the lowest (0.65) among all processed images, although this field had more points than others. This confirms our conclusion that meadowish- and meadow-chestnut soils, which usually are not calcareous, have effervescence and fall into the class of calcareous soils due to the fact that plowing and water bring the carbonates into them from the nearby areas. Therefore, before processing satellite data, meadowish and meadow soils should be excluded from the samples in order to prevent them from affecting the classification precision.

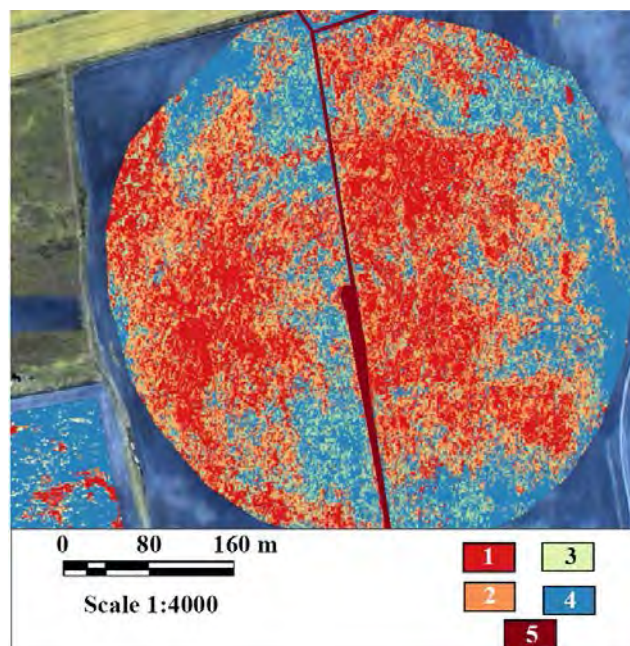


Fig. 17. Classification results for the field No. 8, according to the degree of its surface effervescence, using the Random Forest and the Pleiades satellite image, 25/04/2020. *Legend:* 1 – no effervescence, 2 – weak effervescence, 3 – average effervescence, 4 – strong effervescence, 5 – roads, traces left by irrigation structures.

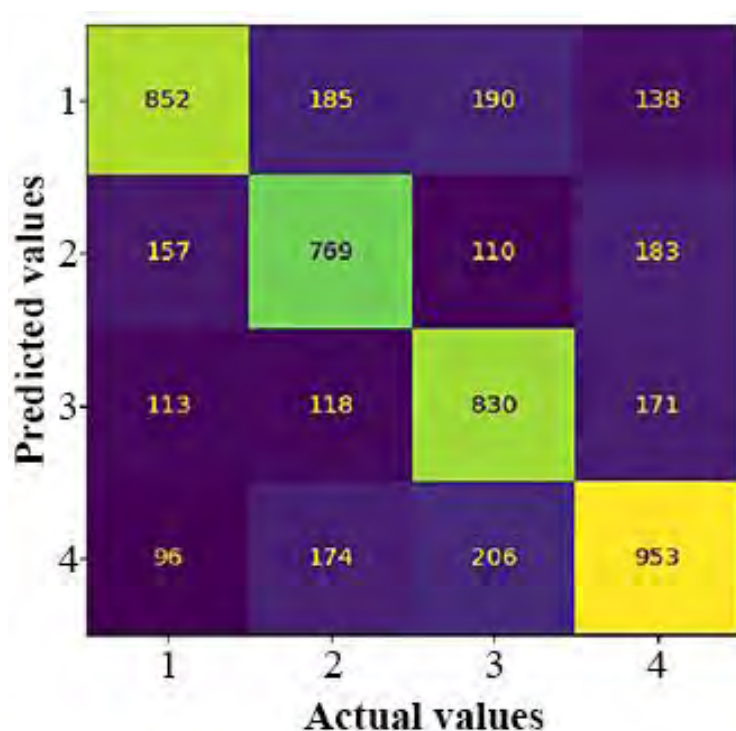


Fig. 18. Error matrix of the classified image of the field No. 3 for its surface soil effervescence (4 classes) based on the Pleiades high-resolution satellite image, 25/04/2020.

Visualization of soil classification on the Pleiades satellite image, taken on 25/04/2020, was carried out according to the surface effervescence of the field No. 3, and is shown in Figure 19.

Table 8. Statistical indices of the image classification of the field No. 3 for its surface soil effervescence (4 classes) based on the Random Forest algorithm and the Pleiades satellite image, 25/04/2020.

Indices (metrics)	Precision	Recall	F-score	Sample
1 – no effervescence	0.70	0.62	0.66	1365
2 – weak effervescence	0.62	0.63	0.62	1219
3 – average effervescence	0.62	0.67	0.65	1232
4 – strong effervescence	0.66	0.67	0.66	1429
Percentage of correct answers	–	–	0.65	5245
Macro-averaging	0.65	0.65	0.65	5245
Weighted arithmetic mean	0.65	0.65	0.65	5245

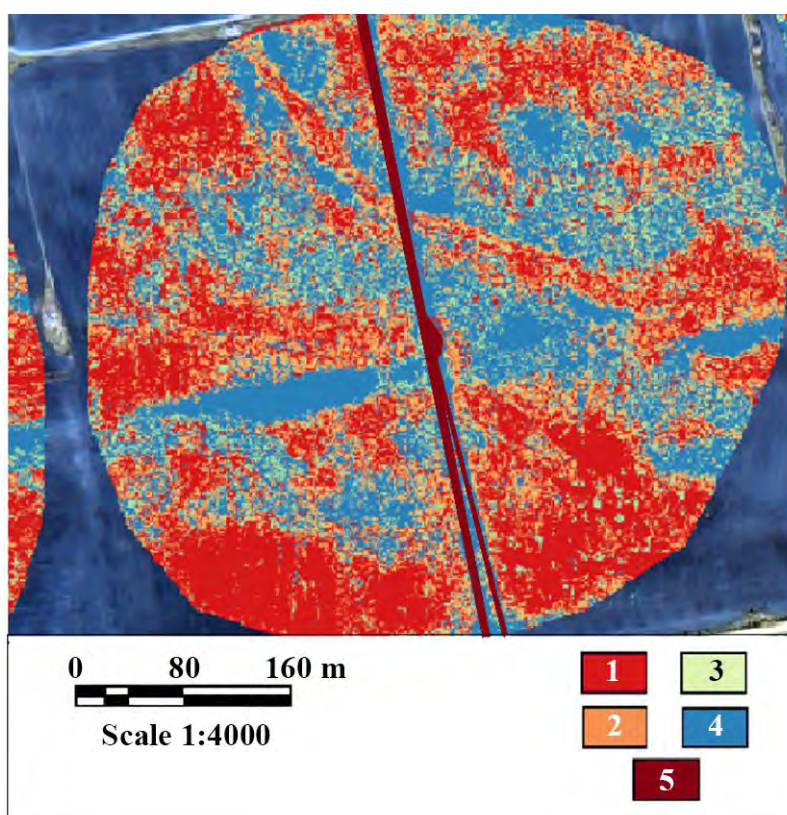


Fig. 19. Classification results for the field No.3, according to the degree of its surface effervescence, using the Random Forest and the Pleiades satellite image, 25/04/2020. *Legend:* 1 – no effervescence, 2 – weak effervescence, 3 –average effervescence, 4 – strong effervescence, 5 – roads, traces left by irrigation structures.

Conclusions

The obtained results allow us to believe that the combined use of high-resolution satellite imagery and field survey data make it possible to reliably identify calcareous surface soils, if the certain requirements of the methodology are followed, such as:

- to choose dry season (May-July) for field surveys and date when the images were taken;

– to avoid using fields with vegetating crops, fallows and those located outside of agricultural development when processing an image;

– to exclude meadowish- and meadow-chestnut soils from the sample, because humus content and soil moisture interfere with the brightness of the pixels, while the additionally introduced carbonates can corrupt the calculations.

The allocation of areas, according to their degree of soil effervescence on the open surface and using remote data is most preferable for the single fields or a group of fields that have similar brightness level. The difference in brightness on a satellite image is due to different soil moisture, as well as the type of land use, such as dry farming and irrigation. The brightness of the pixels in one image can vary even for the same type of soil of different fields. Such a differentiated approach makes the precision of soil classification based on the effervescence degree (absent, weak, average, strong) reach 0.75-0.90; while the processing of the entire area makes it possible to identify calcareous soils by effervescence only using “strong effervescence” or “absent effervescence”, bringing the precision to 0.7.

Funding. This work was carried out for the state assignments No. 0439-2022-0009 “To Study the Transformation, Evolution and Degradation of the Soil Cover in the Agricultural Landscapes at Different Levels of Organization, Including the Heterogeneity of Their Fields and Using Ground Surveys along with Digital Technologies”.

REFERENCES

1. Antipov-Karataev IN. Amelioration of solonchaks in the USSR [*Melioratsiya solonchakov v SSSR*]. Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1953:563.
2. Reservoirs, ponds and lakes of the Volgograd region [*Vodohranilishcha, prudy i ozyora Volgogradskoj oblasti*] / ed. A.S. Ovchinnikov. Volgograd: FGBOU VO Volgogradsky GAU, 2020:352.
3. Volgograd region: natural conditions, resources, economy, population, geoeological condition [*Volgogradskaya oblast': prirodnye usloviya, resursy, hozyajstvo, naselenie, geoekologicheskoe sostoyanie*]. Volgograd: Peremena, 2011:528.
4. Vysotsky GN. Ergenia: a cultural and phytological essay [*Ergenia: kul'turno-fitologicheskij ocherk*] Proc. of the Bureau of Applied Botany [*Trudy byuro po prikladnoj botanike*]. Petrograd: Tipografiya K. Mattisena v Yur'yeve, 1915:331.
5. Gorokhova IN, Khitrov NB, Prokopyeva KO, Harlanov VA. Soil

REFERENCES

1. *Антипов-Каратаев И.Н.* 1953. Мелиорация солонцов в СССР. М.: Изд-во АН СССР. 563 с.
2. Водохранилища, пруды и озёра Волгоградской области. 2020 / Ред. А.С. Овчинников. Волгоград: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ. 352 с.
3. Волгоградская область: природные условия, ресурсы, хозяйство, население, геоэкологическое состояние. 2011. Волгоград: Перемена. 528 с.
4. *Высоцкий Г.Н.* 1915. Ергеня: культурно-фитологический очерк / Труды бюро по прикладной ботанике. Петроград: Типография К. Маттисена в Юрьеве. 331 с.
5. *Горохова И.Н., Хитров Н.Б., Прокопьева К.О., Харланов В.А.* 2018. Почвенный покров Светлоярской оросительной системы через полвека мелиоративных воздействий // Почвоведение. № 8. С. 1-18. [*Gorokhova I.N., Khitrov N.B., Prokop'eva K.O., Kharlanov V.A.* 2018. Soil Cover of the Svetloyarsk Irrigation

- Cover of the Svetloyarsk irrigation system after 50 years of reclamation practices. *Eurasian Soil Science*. 2018;51(8):1-11.
6. Gorokhova IN, Chursin IN, Khitrov NB, Pankova YeI. Agricultural lands identification on the satellite imagery. *Ecosystems: Ecology and Dynamics*. 2021;5(3):34-59.
 7. Degtyareva ET, Zhulidova AN. Soils of the Volgograd region [*Pochvy Volgogradskoy oblasti*]. Volgograd: Nizhne-Volzhskoye knizhnoye izd-vo, 1970:319.
 8. Dimo NA, Keller BA. In the semi-desert region: Soil and botanical studies in the south of Tsaritsynskyuyezd of Saratov province [*V oblasti polupustyni: Pochvennye i botanicheskie issledovaniya na yuge Caricinskogo uезда Saratovskoy gubernii*]. Saratov: Izd-vo Saratovskogo gubernskogo zemstva, 1907;3-185.
 9. Zinchenko EV, Gorokhova IN, Kruglyakova NG, Khitrov NB. The current state of irrigated soils in the south of the Volga Upland [Sovremennoye sostoyaniye oroshayemykh pochv yuga Privolzhskoy vozvysheynosti] *Bulletin of the V.V. Dokuchaev Soil Institute*. 2020;104:68-109.
 10. Ivanova EI. Review of the soils of the southern part of the Pre-Ural Plateau and adjacent areas of the Caspian Lowland [*Oчерк почв yuzhnoy chasti Podural'skogo plato i prilgayushchikh rajonov Prikaspiyskoy nizmennosti*]. Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1928:320.
 11. Ivanova EN, Friedland VM. Soil complexes of dry steppes and their evolution [*Pochvennye komplekсы suhih stepej i ih evolyuciya*] Issues of improving the food supply in the steppe, semi-desert and desert zones of the USSR [*Voprosy uluchsheniya kormovoj bazy v stepnoj, polupustynnoj i pustynnoj zonah SSSR*]. Moscow-Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1954:162-190.
 - System after 50 Years of Reclamation Practices // *Eurasian Soil Science*. Vol. 51. No. 8. P. 1-11.]
 6. Горохова И.Н., Чурсин И.Н., Хитров Н.Б., Панкова Е.И. 2021. Распознавание сельскохозяйственных угодий по космическим снимкам // *Экосистемы: экология и динамика*. Т. 5. № 3. С. 5-33. [Gorokhova I.N., Chursin I.N., Khitrov N.B., Pankova Ye.I. 2021. Agricultural Lands Identification on the Satellite Imagery // *Ecosystems: Ecology and Dynamics*. Vol. 5. No. 3. P. 34-59.]
 7. Дегтярева Е.Т., Жулидова А.Н. 1970. Почвы Волгоградской области. Волгоград: Нижне-Волжское книжное изд-во. 319 с.
 8. Димо Н.А., Келлер Б.А. 1907. В области полупустыни: Почвенные и ботанические исследования на юге Царицынского уезда Саратовской губернии. Саратов: Изд-во Саратовского губернского земства. С. 3-185.
 9. Зинченко Е.В., Горохова И.Н., Круглякова Н.Г., Хитров Н.Б. 2020. Современное состояние орошаемых почв юга Приволжской возвышенности // *Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева*. Вып. 104. М.: РАСХН. С. 68-109.
 10. Иванова Е.И. 1928. Очерк почв южной части Подуральского плато и прилегающих районов Прикаспийской низменности. Л.: Изд-во АН СССР. 320 с.
 11. Иванова Е.Н., Фридланд В.М. 1954. Почвенные комплексы сухих степей и их эволюция // *Вопросы улучшения кормовой базы в степной, полупустынной и пустынной зонах СССР*. М.-Л.: Изд-во АН СССР. С. 162-190.
 12. Классификация и диагностика почв России. 2004. Смоленск: Ойкумена. 342 с.
 13. Роде А.А. 1947. Почвообразовательный

12. Classification and diagnostics of soils in Russia [*Klassifikaciya i diagnostika pochv Rossii*]. Smolensk: Oikumena, 2004:342 p.
13. Rode AA. Soil formation and evolution [*Pochvoobrazovatel'nyy protsess i evolyutsiya pochv*]. Moscow: Geografiz, 1947:142.
14. Guide to the description of soils [*Rukovodstvo po opisaniyu pochv*]. Rome: FAO, 2012:101.
15. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils / ed. L.A. Richards. USDA. Agriculture Handbook. 1954;60:160.
16. Guidelines for Soil Description. 4th ed. Rome: FAO, 2006:98.
17. Tian F, Hou M, Qiu Y, Zhang T, Yuan Y. Salinity Stress Effects on Transpiration and Plant Growth under Different Salinity Soil Levels Based on Thermal Infrared Remote (TIR) Technique. *Geoderma*. 2020;357:113961.
18. Wang F, Shi Z, Biswas A, Yang S, Ding J. Multi-Algorithm Comparison for Predicting Soil Salinity. *Geoderma*. 2020;365: 114211.
19. Wang J, Ding J, Yu D, Ma X, Zhang Z, Ge X, Teng D, Li X, Liang J, Lizaga I, Chen X, Yuan L, Guo Y. Capability of Sentinel-2 MSI Data for Monitoring and Mapping of Soil Salinity in Dry and Wet Seasons in the Ebinur Lake Region, Xinjiang, China. *Geoderma*. 2019;353:172-187.
20. Zarea E, Arshad M, Zhao D, Nachimuthu G, Triantafilis J. Two-dimensional time-lapse imaging of soil wetting and drying cycle using EM38 data across a flood irrigation cotton field. *Agricultural Water Management*. 2020;241:106383. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106383>
- процесс и эволюция почв. М.: Географиз. 142 с.
14. Руководство по описанию почв. 2012. Рим. Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединенных наций. 101 с.
15. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. 1954 / Ed. L.A. Richards USDA. Agriculture Handbook. No. 60. 160 p.
16. Guidelines for Soil Description. 2006. 4th ed. Rome: FAO. 98 p.
17. Tian F., Hou M., Qiu Y., Zhang T., Yuan Y. 2020. Salinity Stress Effects on Transpiration and Plant Growth under Different Salinity Soil Levels Based on Thermal Infrared Remote (TIR) Technique // *Geoderma*. Vol. 357. P. 113961.
18. Wang F., Shi Z., Biswas A., Yang S., Ding J. 2020. Multi-algorithm Comparison for Predicting Soil Salinity // *Geoderma*. Vol. 365. P. 114211.
19. Wang J., Ding J., Yu D., Ma X., Zhang Z., Ge X., Teng D., Li X., Liang J., Lizaga I., Chen X., Yuan L., Guo Y. 2019. Capability of Sentinel-2 MSI Data for Monitoring and Mapping of Soil Salinity in Dry and Wet Seasons in the Ebinur Lake Region, Xinjiang, China // *Geoderma*. Vol. 353. P. 172-187.
20. Zarea E., Arshad M., Zhao D., Nachimuthu G., Triantafilis J. 2020. Two-dimensional time-lapse imaging of soil wetting and drying cycle using EM38 data across a flood irrigation cotton field // *Agricultural Water Management*. No. 241. P. 106383. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106383>

УДК 631.4

**ВЫДЕЛЕНИЕ КАРБОНАТНЫХ ПОЧВ
НА ВОЛГО-ДОНСКОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ (ВОЛГОГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ)
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ**

© 2023 г. И.Н. Горохова*, И.Н. Чурсин**, Н.Б. Хитров*, Н.К. Круглякова* **

**Почвенный институт им. В.В. Докучаева*

Россия, 119017, г. Москва, Пыжевский пер., стр. 7. E-mail: g-irina14@yandex.ru

***Научный геоинформационный центр РАН*

Россия, 119019, г. Москва, а/я 168, ул. Новый Арбат, д. 11. E-mail: chursin.ivan93@gmail.com

****Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия*

Россия, 400002, г. Волгоград, ул. им. Тимирязева, д. 9. E-mail: kruglyakova02032013@yandex.ru

Поступила в редакцию 16.12.2022. После доработки 01.02.2023. Принята к публикации 02.02.2023.

Исследование направлено на обоснование выделения ареалов карбонатных почв с использованием космической информации высокого разрешения (Pleiades) на территории ключевого участка опытной станции «Орошаемая» Волго-Донской оросительной системы, расположенной в Волгоградской области. Проблема с присутствием карбонатов в почвах связана с тем, что они оказывают как положительное, так и отрицательное воздействие на почвы, поэтому выявление таких почв практически важно. Выделение на космических снимках карбонатных пятен проводилось по точкам поверхностного вскипания почв разной степени от раствора HCl, которое выявлялось контактным способом на с/х полях. Далее осуществлялась установка связи между спектральной яркостью в разных каналах космического снимка в точках вскипания и степенью вскипания почв. Для этого с космических изображений делалась выборка из пикселей, соответствовавших точкам вскипания на поверхности почв на местности, которая использовалась при выделении классов на снимке с помощью алгоритма RandomForest. В результате всех проведенных исследований было определено, что для выделения ареалов карбонатных (вскипающих) с поверхности почв по космической информации оптимально проводить полевые измерения и использовать материалы съемки в засушливый сезон года (май-июль). При обработке снимка следует использовать изображение полей с открытой поверхностью почв и не вовлекать территории за пределами сельскохозяйственного освоения. Необходимо также исключать из выборки точки с луговато- и лугово-каштановыми почвами. Они расположены, как правило, в понижениях рельефа и из-за привнесенных со стороны карбонатов могут создавать помехи в расчетах. Выделение ареалов карбонатных почв лучше всего проводить в рамках отдельного с/х поля или группы схожих по яркости полей. Разброс яркости с/х полей на космическом снимке возникает из-за разного вида использования земель (богара, орошаемое поле). При таком дифференцированном подходе точность классификации карбонатных почв по степени вскипания (нет, слабое, среднее и сильное) на космическом изображении достигает 0.75-0.90, в то время как при обработке ключевого участка целиком, возможно выделение карбонатных почв только с градацией сильное вскипание или нет вскипания с точностью 0.7. Новизна результатов работы заключается в обосновании возможности достоверного выделения поверхностно-карбонатных почв при совместном использовании материалов космической информации высокого разрешения и данных полевых обследований при условии соблюдения определенных требований.

Ключевые слова: карбонатные почвы, вскипание, степень вскипания почв, открытая поверхность, космические снимки, спектральная яркость, точность классификации, Волгоградская область.

Финансирование. Работа выполнена по теме государственных заданий № 0439-2022-0009 «Изучить трансформацию, эволюцию и деградацию почвенного покрова агроландшафтов на разных уровнях организации, включая внутривидовую неоднородность с использованием сочетания наземных обследований и цифровых технологий».

DOI: 10.24412/2542-2006-2023-1-92-114

EDN: CXMSUO

УДК 599; 502,743; 502,45

МЛЕКОПИТАЮЩИЕ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ТОКИНСКО-СТАНОВОЙ»

© 2023 г. С.А. Подольский*, **, Ю.А. Дарман***, А.А. Кадетова****,
В.А. Кастрикин*****, К.П. Павлова**, Т.А. Доманов**

**Институт водных проблем РАН*

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

***Зейский государственный природный заповедник*

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

****Амурский филиал WWF России*

Россия, 690003, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д. 18а. E-mail: ydarman@wwf.ru

*****Московский зоопарк*

Россия, 123242, г. Москва, ул. Б. Грузинская, д. 1. E-mail: asfedlynxx@mail.ru

******Хинганский государственный природный заповедник*

Россия, 676740, Амурская обл., рп. Архара, пер. Дорожный, д. 6. E-mail: office@khingan.ru

Поступила в редакцию 18.01.2023. После доработки 06.02.2023. Принята к публикации 01.03.2023.

Национальный парк «Токинско-Становой», учрежденный в конце 2019 г., имеет площадь около 253 тыс. га. Он находится на севере Амурской области – на стыке ее границ с Республикой Саха (Якутия) и Хабаровским краем. Первое зоологическое обследование этой территории было проведено экспедицией В.Ч. Дорогостайского в 1914 году. В нашей статье приводятся основные сведения о фауне и населении млекопитающих, полученные в течение 7 летне-осенних сезонов: 1992, 1993, 2009, 2018, 2020-2022 гг. Экспедиции 2009, 2018, 2020-2022 гг. были организованы и проведены Зейским государственным природным заповедником при участии экологов из Института водных проблем, Хинганского государственного природного заповедника, Амурского филиала WWF России, Московского зоопарка и Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Непосредственно на территории национального парка удалось подтвердить обитание 27 видов млекопитающих. Это средняя бурозубка, крупнозубая бурозубка, равнозубая бурозубка, крошечная бурозубка, восточная ночница, заяц-беляк, северная пищуха, летяга, обыкновенная белка, азиатский бурундук, восточноазиатская мышь, лемминговидная полевка, красная полевка, красно-серая полевка, лесной лемминг, полевка Громова (шантарская), волк, лисица, бурый медведь, россомаха, соболь, горностай, рысь, кабарга, лось, дикий северный олень, снежный баран. Черношапочный сурок и американская норка отмечались в непосредственной близости от границ особо охраняемых территорий, а значит, их обнаружение в национальном парке весьма вероятно. По литературным и/или опросным данным, вблизи границ парка могут также обитать полевка-экономка, амурский лемминг, ласка, колонок, выдра; возможны редкие заходы амурского тигра. Таким образом, териофауна Токинско-Станового национального парка включает от 27 до 35 видов из 6 отрядов и 14 семейств. При дальнейшем изучении список отмеченных видов зверей может быть расширен за счет рукокрылых и насекомоядных.

В национальном парке и на сопредельной территории создана система зоологического мониторинга, основу которой составляют 15 участков учета относительной численности мелких млекопитающих, а также 5 участков наблюдений за снежными баранами и другими крупными зверями. Благодаря этому удалось не только провести основной объем работ по инвентаризации териофауны, но также получить представления о показателях численности, биотопическом, пространственном и сезонном распределении многих видов млекопитающих. Получены первые оценки работы особо охраняемых территорий, намечены важнейшие направления улучшения охраны животного населения и оптимизации мониторинга.

Установлено, что меры по охране территории национального парка уже дают ощутимые результаты. Так, в центральной части Токинского Становика прекратилась интенсивная незаконная охота на снежного барана и началась нормализация половозрастной структуры группировки толсторогов. Для повышения надежности обеспечения режима особо охраняемых территорий и дальнейшего изучения животного населения необходимо создать охранную зону по ее периметру, а также распространить экспедиционное патрулирование и зоологические наблюдения на восточную часть национального парка.

Ключевые слова: Становой хребет, Токинский Становик, национальный парк, млекопитающие, фауна, животное население, численность, плотность населения, зоологический мониторинг, охрана.

DOI: 10.24412/2542-2006-2023-1-115-161

EDN: HWWVHC

Национальный парк «Токинско-Становой» был учреждён 20 декабря 2019 г. постановлением Правительства РФ № 1735 в рамках реализации Государственной программы «Экология». Новая федеральная особо охраняемая территория (ООПТ) занимает около 253 тыс. га на севере Амурской области – на стыке ее границ с Республикой Саха (Якутия) и Хабаровским краем. Территория парка включает наиболее высокий участок Станового хребта – Токинский Становик: от бассейнов верховий рек Ток на западе до бассейна верхнего и среднего течения р. Аюмкан на востоке (рис. 1). Эта территория отличается уникальной сохранностью. Здесь нет постоянных поселений и не ведется никакой хозяйственной деятельности кроме традиционного природопользования (охота, оленеводство).

В рамках системы глобального зоогеографического районирования (Воронов, 1963) рассматриваемая территория находится в пределах Европейско-Сибирской подобласти в относительной близости от стыка северных границ Центрально-Азиатской и Маньчжурско-Китайской подобластей голарктической фаунистической области. Согласно схеме регионального зоогеографического районирования (Куренцов, 1965), территория национального парка относится к Верхнезейскому округу Зейско-Хинганской провинции и одновременно к высокогорной провинции Станового хребта. Здесь наблюдается взаимопроникновение трех типов фаун: охотско-камчатской (кабарга, дикуша), восточно-сибирской (белка, восточносибирский подвид лося) и высокогорной (лемминговидная полевка, северный олень, снежный баран). Кроме того, в среднегорьях и по долинам рек изредка встречаются представители амурской фауны (уссурийский (оленерогий) подвид лося, колонок). Высокогорья национального парка чрезвычайно важны для сохранения одной из самых южных жизнеспособных популяций снежного барана. Обитающий на Токинском Становике подвид – баран Аллена занесен в Красные книги Амурской области (2020) и Республики Саха (2019).

С зоологической точки зрения, Токинский Становик изучен слабо. Первые исследования западной оконечности этого хребта и Токско-Туксанийского плато были проведены экспедицией В.Ч. Дорогостайского (1915) по заданию Императорской Академии Наук в 1914 году. В 1982-1983 гг. со стороны Якутии его обследовали охотоведы Новосибирской проектно-изыскательской экспедиции, а на основе их отчета в 1984 г. был организован республиканский зоологический заказник «Большое Токко». В 1990-х и начале 2000-х гг. на этом участке проводили работы сотрудники Института биологических проблем криолитозоны Сибирского отделения РАН под руководством К.А. Волтовского. Результаты этих комплексных исследований, включающие изучение животного мира, опубликованы в коллективной монографии (Чевычелов и др., 2010).

В 1989-1990 гг. Амурский научный центр ДВО РАН и Амурский областной комитет охраны окружающей среды разработали Схему развития особо охраняемых природных

территорий Амурской области, которую затем утвердили 25.04.1991 решением VI сессии Амурского областного Совета народных депутатов (Дарман, 1995). Благодаря поддержке Экологического фонда были организованы две экспедиции для обоснования создания на Токинском Становике ООПТ федерального уровня. В 1992 году в междуречье рек Зеи и Лучи в районе перевала Тас-Балаган работали зоолог Ю.А. Дарман, ботаники В.М. Старченко и И.И. Шаповал. В 1993 году его восточная окраина в районе вершины Аюмкан обследовалась с участием геоморфологов В.И. Готванского и Е.Ю. Ликутова, ботаников В.М. Старченко, И.И. Шаповала и зоолога С.А. Подольского (Готванский, Подольский, 2000).

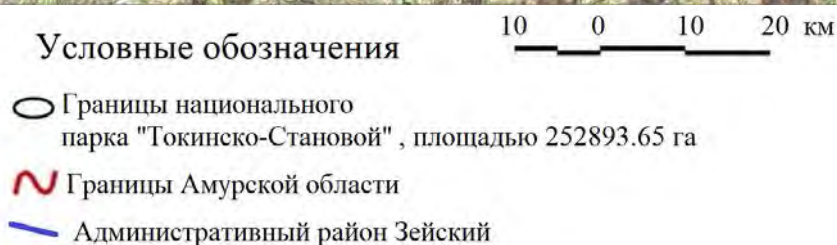


Рис. 1. Расположение национального парка «Токинско-Становой».

Fig. 1. Location of the Tokinsko-Stanovoy National Park.

Комплексное зоологическое обследование территории, на которой сейчас расположен национальный парк, было продолжено 17 сентября – 05 октября 2009 года. В полевых работах принимали участие С.А. Подольский (руководитель экспедиции, с.н.с. Института водных проблем РАН, с.н.с. Зейского государственного природного заповедника (ЗГПЗ)), С.Ю. Игнатенко (директор ЗГПЗ), О.Я. Куликова (магистрант Географического факультета Московского государственного университета (МГУ)), В.М. Манкевич (сотрудник Дирекции по охране и использованию животного мира особо охраняемых природных территорий Амурской области) и Ю.Н. Абоимов (глава родовой общины «Тайга»). Экспедиция была организована Зейским государственным природным заповедником при финансовой поддержке Амурского филиала Всемирного фонда дикой природы (WWF). Были обследованы водосборные бассейны рек Аначан, Чардат, Улягир, Накит, Малый

Оконон, среднее течение р. Ток, окрестности озер Оконон и Дугдуй; горные хребты по границе с Якутией – от истоков р. Малый Оконон до истоков р. Средний Оконон. Общая длина пеших маршрутов составила около 180 км. В 2010 году на основании результатов полевых работ 1993 и 2009 гг. был организован государственный заказник областного значения «Токинский» имени Г.А. Федосеева (Борисова и др., 2020).

В дальнейшем интенсивность антропогенного воздействия на территории, примыкающие к Токинскому заказнику, стала стремительно нарастать. Вблизи его западных границ начали постоянно функционировать железная и автомобильная дороги «Улак – Эльга»; к востоку, у слияния рек Аюмкан и Кунь-Манье, развернулись крупномасштабные горные работы; бассейн среднего течения р. Ток был отдан под сплошные лесозаготовки; стали отмечаться случаи охоты на баранов с использованием вертолётов. Для сохранения животного населения, уникальных природных комплексов и традиционного образа жизни коренных малочисленных народов Севера (далее – КМНС) было предложено повысить статус ООПТ до федерального уровня. В июле-августе 2018 г., по договору с Всероссийским научно-исследовательским институтом Экология и при финансовой поддержке Амурского филиала WWF, Зейский заповедник организовал и провел экспедицию по проектированию Токинско-Станового национального парка. В экспедиции участвовали С.А. Подольский (руководитель), В.А. Кастрикин (замдиректора Хинганского государственного природного заповедника (ХГПЗ) по НИР), С.В. Дудов (сотрудник МГУ) и Т.А. Доманов (научный сотрудник ЗГПЗ). Олений караван экспедиции вели каюры эвенкийской родовой общины «Юктэ» (Родник): Д. Колесов, Е. Трифонов и А. Красикова. Были повторно обследованы бассейны рек Аначан, Чардат, Улягир, Малый Оконон, Малые Туксани. Кроме того, были проведены наблюдения на водосборе между истоками рек Большие Туксани, Зeya и Сивактыляк 1-й, в истоках р. Оюр (левый приток р. Б. Туксани), а также сплав по р. Зeya от устья р. Сивактыляк 1-й до Зейского водохранилища. Были собраны дополнительные материалы для повышения статуса Токинского заказника до национального парка (Подольский и др., 2020) и предварительные данные о состоянии популяции снежного барана (Подольский и др., 2019).

После учреждения Токинско-Станового национального парка под управлением Зейского государственного природного заповедника на его территории ежегодно проводились летние зоологические экспедиции. В них принимали участие несколько экологов: С.А. Подольский (руководитель, с.н.с. Института водных проблем РАН, замдиректора ЗГПЗ по НИР), К.П. Павлова (с.н.с. ЗГПЗ), Т.А. Доманов (с.н.с. ЗГПЗ), Е.К. Красикова (инженер по мониторингу ЗГПЗ), С.В. Дудов (с.н.с. биофака МГУ, н.с. ЗГПЗ), В.А. Кастрикин (замдиректора ХГПЗ по НИР), А.И. Антонов (с.н.с. ХГПЗ), А.А. Кадетова (с.н.с. Московского зоопарка), Ю.А. Дарман и С.И. Титова (Амурский филиал WWF России).

В данной публикации приводятся основные сведения о фауне и населении млекопитающих Токинско-Станового национального парка и сопредельной территории, полученные нами в экспедициях 1992-1993, 2009, 2018, 2020-2022 гг. При подготовке статьи помимо оригинальных данных были использованы результаты учетов численности охотничьих видов животных по материалам Россельхознадзора.

Материалы и методы

Биотопическая дифференциация местообитаний млекопитающих

Для рассматриваемой территории характерна высотная поясность. Хорошо выражены три основных пояса: лесной (горнотаежный), подгольцовый (субальпийский) и гольцовый

(горнотундровый или альпийский). В лесной пояс входит растительность днищ долин, склонов и водосборов до 1200-1300 м н.у.м. БС. Переход от лесного пояса к гольцовому осуществляется постепенно, через растительные группировки подгольцового пояса. Последний включает полосу редин и заросли субальпийских кустарников и простирается от 1300-1400 до 1500-1600 м н.у.м. БС. Растительность гольцового пояса представляет собой верхнюю ступень вертикальной поясности. Сюда отнесены верхние части склонов, вершины и водосборы выше 1600 м н.у.м. БС.

Лесной пояс мы условно отнесли к низкогорьям и среднегорьям (до 1200-1300 м н.у.м. БС); субальпийский и альпийский пояса – к высокогорьям (более 1300 м н.у.м. БС). Для удобства сбора данных и анализа биотопического распределения млекопитающих были выделены основные типы местообитаний, каждый из которых получил порядковый номер, буквенное обозначение (индекс) и условное название (табл. 1).

Таблица 1. Местообитания млекопитающих, характерные для района работ.

Table 1. Mammals' habitats in the study area.

№ п./п.	Индекс	Название местообитания
I. Природные комплексы склонов и водосборов низкогорий и среднегорий		
Леса на склонах и водосборах		
1	(Л-скл)	Сомкнутые лиственничные леса, местами с участием березы и/или кедрового стланика
2	(Е-скл)	Еловые леса, местами с участием лиственницы, березы и/или кедрового стланика
3	(Б-скл)	Белоберезовые леса, местами с участием лиственницы и/или кедрового стланика
Редколесья на склонах и водосборах		
4	(ЛР-скл)	Лиственничные заболоченные редколесья (мари) вне речных долин и пойм
Осыпи и скалы на склонах и водосборах		
5	(Ос-скл)	Осыпи и скалы, местами с куртинами кедрового стланика и/или ерника
II. Интразональные (долинные и прибрежные) природные комплексы низкогорий и среднегорий		
Леса долин и падей		
6	(Л-дол)	Лиственничные леса долин, местами с участием березы и/или кедрового стланика
7	(Е-дол)	Ельники долин, местами с участием лиственницы, березы, тополя. и/или кедрового стланика
8	(Смеш-дол)	Смешанные долинные и пойменные леса с лиственницей, березой, тополем, местами с подростом ели
Открытые и полуоткрытые биотопы долин		
9	(Р)	Руслу рек и прибрежный комплекс растительности (чередование ивняков, заочкаренных лугов, стариц и проток)
10	(ЛР-дол)	Лиственничные редколесья, в том числе заболоченные (мари) в долинах рек
11	(О-дол)	Безлесные открытые участки речных долин и берегов озер: луга и болота, местами закустаренные
12	(Ск-дол)	Скалы и осыпи в долинах рек, местами с куртинами кедрового стланика и/или ерника
13	(Г-с)	Свежие гари и вырубki
14	(Г-з)	Зарастающие гари и вырубki

Продолжение таблицы 1.

№ п./п.	Индекс	Название местообитания
III. Нарушенные и антропогенно модифицированные территории низкогорий и среднегорий		
15	(Т)	Техногенные пустоши: зоны отчуждения ЛЭП, обочины и зоны отчуждения автомобильных и железных дорог, зоны расчистки для стройплощадок
16	(Ос-т)	Техногенные каменистые осыпи и отвалы: каменистые насыпи вдоль полотна железной дороги, каменистые карьеры
IV. Природные комплексы склонов и водосборов высокогорий		
17	(Стл)	Заросли кедрового стланика и иные криволесья
18	(Са)	Чередование субальпийских лугов, горных болот, кустарниковых зарослей и куртин кедрового стланика
19	(Са-ос,ск)	Осыпи и скалы среди зарослей стланика и в субальпийской зоне
20	(А)	Альпийские луга, горные тундры, гольцы
21	(А-ос,ск)	Осыпи и скалы в альпийской зоне
V. Долинные и прибрежные природные комплексы высокогорий		
22	(Р-в)	Берега рек и озер с прибрежными зарослями в альпике, субальпике и криволесьях
23	(О-дол.в)	Прибрежные открытые биотопы: пойменные луга, болота, наледные поляны, а также другие открытые и полукрытые прибрежные биотопы (в том числе у озер) в пределах альпики, субальпики и криволесий
VI. Нарушенные территории высокогорий		
24	Гстл-с	Свежие гари зарослей кедрового стланика
25	Гстл-з	Зарастающие гари зарослей кедрового стланика

Видовой состав млекопитающих

Териофауна охарактеризована по нашим наблюдениям, литературным данным (Чевычелов и др., 2010; Наземные млекопитающие Дальнего Востока, 1984; Красная книга Амурской области, 2020) и результатам опросов местных жителей (табл. 2). Систематические названия видов млекопитающих приведены по работе А.А. Лисовского с соавторами (2019).

Таблица 2. Млекопитающие, отмеченные в национальном парке «Токинско-Становой» и на сопредельной территории. **Table 2.** Mammals of the Tokinsko-Stanovoy National Park and the adjacent territory.

Виды млекопитающих	Характер информации*	Характер пребывания**	Состояние вида***
ОТРЯД НАСЕКОМОЯДНЫЕ – EULIPOTYPHILA			
Сем. Землеройковые – Soricidae			
Крупнозубая бурозубка – <i>Sorex daphaenodon</i> Thomas, 1907	Н	П	–
Средняя бурозубка – <i>Sorex caecutiens</i> Laxmann, 1785 (1788)	Н, Нс	П	–
Равнозубая бурозубка – <i>Sorex isodon</i> Turov, 1924	Н	П	–
Крошечная бурозубка – <i>Sorex minutissimus</i> Zimmermann, 1780	Н	П	–

Продолжение таблицы 2.

Виды млекопитающих	Характер информации	Характер пребывания	Состояние вида
ОТРЯД РУКОКРЫЛЫЕ – CHIROPTERA			
Семейство Гладконосые – Vespertilionidae			
Восточная ночница – <i>Myotis petax</i> Hollister, 1912	Н	Л, Ск	–
ОТРЯД ЗАЙЦЕОБРАЗНЫЕ – LAGOMORPHA			
Семейство Пищуховые – Ochotonidae			
Пищуха северная – <i>Ochotona hyperborea</i> Pallas, 1811	Н	П	–
Семейство Заячьи – Leporidae			
Заяц-беляк – <i>Lepus timidus</i> Linnaeus, 1758	Н	П	Пр
ОТРЯД ГРЫЗУНЫ – RODENTIA			
Семейство Белчьи – Sciuridae			
Обыкновенная белка – <i>Sciurus vulgaris</i> Linnaeus, 1758	Н	П, Нк	Пр
Обыкновенная летяга – <i>Pteromys volans</i> Linnaeus, 1758	Н	П	–
Азиатский бурундук – <i>Tamias sibiricus</i> Laxmann, 1769	Н	П	–
Камчатский (черношапочный) сурок – <i>Marmota camtschatica</i> Pallas, 1811	Нс	?	Охр (КкАо, КкРС)
Семейство Хомяковые – Cricetidae			
Лесной лемминг – <i>Myopus schisticolor</i> Lilljeborg, 1844	Н	П	–
Лемминг амурский – <i>Lemmus amurensis</i> Vinogradov, 1924	Ос	?	Охр (КкАо, Прилож. КкРФ)
Красная полевка – <i>Myodes rutilus</i> Pallas, 1779	Н	П	–
Красно-серая полевка – <i>Craseomys rufocanus</i> Sundevall, 1846	Н	П	–
Лемминговидная полевка – <i>Alticola lemminus</i> Miller, 1899	Н	П	Охр (КкАо), ГА (ю)
Полевка Громова – <i>Alexandromys shantaricus</i> Ognev, 1929	Н	П	ГА (з)
Полевка-экономка – <i>Alexandromys oeconomus</i> Pallas, 1776	Лс	?	–
Семейство Мышиные – Muridae			
Мышь восточноазиатская – <i>Apodemus peninsulae</i> Thomas, 1907	Н	П	ГА(с)
ОТРЯД ХИЩНЫЕ – CARNIVORA			
Семейство Собачьи – Canidae			
Волк – <i>Canis lupus</i> Linnaeus, 1758	Н	Зч	Пр
Обыкновенная лисица – <i>Vulpes vulpes</i> Linnaeus, 1758	Н	Зч	Пр
Семейство Медвежьи – Ursidae			
Бурый медведь – <i>Ursus arctos</i> Linnaeus, 1758	Н	П, Нк	Пр

Продолжение таблицы 2.

Виды млекопитающих	Характер информации	Характер пребывания	Состояние вида
Семейство Куны – <i>Mustelidae</i>			
Горноста́й – <i>Mustela (Mustela) erminea</i> Linnaeus, 1758	Н	П	Пр
Колонок – <i>Mustela sibirica</i> Pallas, 1773	Ос	?	Пр, ГА(с)
Ласка – <i>Mustela nivalis</i> Linnaeus, 1766	Лс	?	Пр
Американская норка – <i>Neovison vison</i> Schreber, 1777	Нс	?	Пр
Росомаха – <i>Gulo gulo</i> Linnaeus, 1758	Н	Зч	Пр
Соболь – <i>Martes zibellina</i> Linnaeus, 1758	Н	П, Нк	Пр
Выдра – <i>Lutra lutra</i> Linnaeus, 1758	Ос	?	Охр (КкРС)
Семейство Кошачьи – <i>Felidae</i>			
Амурский тигр – <i>Panthera tigris</i> Linnaeus, 1758	Л, Лс	Зр, ?	Охр (КкАо, КкРФ)
Рысь – <i>Lynx lynx</i> Linnaeus, 1758	Н	Зр	Пр
ОТРЯД ПАРНОКОПЫТНЫЕ – <i>ARTIODACTYLA</i>			
Семейство Олени – <i>Cervidae</i>			
Лось – <i>Alces americanus</i> Clinton, 1822	Н	П, Ск	Пр
Северный олень – <i>Rangifer tarandus</i> Linnaeus, 1758	Н	П, Ск	Пр
Семейство Кабарожьи – <i>Moschidae</i>			
Кабарга – <i>Moschus moschiferus</i> Linnaeus, 1758	Н	П	Пр
Семейство Полорогие – <i>Bovidae</i>			
Снежный баран – <i>Ovis nivicola alleni</i> Matschie, 1907	Н	П	Охр (КкАо, КкРС) ГА(ю)

Примечания к таблице 2. *Характер информации**: Н – наблюдения на территории нацпарка, Нс – на сопредельной территории, Л – литературные данные по территории парка, Лс – по сопредельной территории, О – опросные данные с территории парка, Ос – опросные данные с сопредельной территории. *Характер пребывания*** : П – обитает постоянно в течение всего года, Л – встречается летом, Зч – частые заходы, Зр – редкие не ежегодные заходы, Ек – характерны ежегодные сезонные кочевки или миграции за пределы парка, Нк – отмечены не ежегодные кочевки, ? – обитание на территории парка возможно, но не подтверждено достоверными находками. *Состояние вида****: ГА – обитает на границе своего ареала (ю – южной, с – северной, з – западной), Пр – промысловый вид, Охр – охраняемый вид, КкАо – занесен в Красную книгу Амурской области (2020), КкРФ – занесен в Красную книгу РФ (2021), ПрилКкРФ – занесен в приложение к Красной книге РФ «Перечень объектов животного мира, нуждающихся в особом внимании», КкРС – занесен в Красную книгу Республики Саха (2019). **Notes to Table 2.** *Data acquisition**: Н – through observations in the territory of the national park, Нс – in the adjacent territory, Л – literature sources about the park, Лс – literature sources about the adjacent territory, О – surveys carried out in the park, Ос – surveys carried out in the adjacent territory. *Residence type*** : П – lives constantly throughout the year, Л – can be found in summer, Зч – frequently visits, Зр – visits rarely and non-annually, Ек – annual seasonal migrations or migrations away from the park, Нк – non-annual migrations are registered, ? – possibly, inhabits the park, but it is not confirmed by reliable encounters. *State of the species****: ГА – lives on the border of its range (ю – southern, с – northern, з – western), Пр – commercial species, Охр – protected species, КкАо – listed in the Red Data Book of the Amur Region (2020), КкРФ – in the Red Data Book of the Russian Federation (2021), ПрилКкРФ – in the Appendix to the Red Data Book of the Russian Federation “List of the animals in need of special attention”, КкРС – in the Red Data Book of the Republic of Sakha (2019).

Методы и основные результаты наблюдений

Мелкие млекопитающие. В качестве основного метода их учета использован отлов на линиях ловушек Геро, который проводился по стандартной методике (Карасева и др., 2008). Ловушки (плашки Геро) устанавливались в линию в пределах одного биотопа с интервалом 5 м. В качестве наживки использовалась стандартная приманка – подсушенный черный хлеб, смоченный в нерафинированном подсолнечном масле. В период затяжных дождей также использовались кусочки поролона, пропитанные растительным маслом. Продолжительность работы линий при проведении учета – не менее одной ночи, оптимальная продолжительность – двое суток. Показатель уловистости (относительной численности) мелких млекопитающих в конкретных местообитаниях рассчитывается в особях на 100 ловушко-суток. Этим методом определялось обилие мышевидных грызунов, азиатского бурундука, северной пищухи и частично бурозубок (табл. 3, 4). Кроме этого, для учета насекомоядных использовалась модифицированная методика с использованием почвенных ловушек Барбера (Игнатенко, Павлова, 2012). При постановке учетной линии закапывались ловушки с диаметром входа 6.5 см, что соответствует стеклянной банке емкостью 0.5 л. В качестве ловушек были использованы литровые пластиковые бутылки, обрезанные до высоты 14 см. Ловушки закапывали в одну линию на расстоянии 5 м друг от друга в количестве 25-30 штук и заглубляли на уровень грунта. Приманка при учетах не применялась. При закладке линии из почвенных ловушек зачищали от растительности только пространство возле самой ловушки, диаметром примерно 10-15 см. На дно ловушки на время проведения сборов материала наливали около 100 мл 4.5-5% раствора уксусной кислоты.

Осмотр ловушек и сбор материала производился раз в день. Время экспозиции 24-48 часов. Результаты учета относительной численности бурозубок на линиях ловчих стаканов представлены в таблице 3. Для отлова рукокрылых использовали тонкие паутинные сети (Ботвинкин, 2002; Крускоп, 2021) длиной 10 м, которые устанавливали на штангах (телескопические маховые удилища) в различных местах. После наступления темноты сети проверяли каждые 15 минут в течение 2-4 часов (в зависимости от условий). Наблюдения за мелкими млекопитающими проводились в 15 пунктах, относящихся к юго-западной и центральной частям Токинского Становика (рис. 2); рукокрылых – только в пунктах 13 и 14.

Копытные и хищные. При организации и проведении учетов крупных млекопитающих особое внимание уделялось снежному барану (толсторогу) – важнейшему виду, охраняемому на территории Токинского-Станового национального парка. Обитающий здесь подвид – баран Аллена, занесен в Красные книги Амурской области (2020) и Якутии (2019). Наблюдения за толсторогами проводились на пяти участках, расположенных в западной, центральной и восточной частях Токинского Становика (рис. 3).

В качестве основного метода определения плотности населения снежных баранов (толсторогов) использовалась визуальная регистрация на учётных площадках по открытым участкам склонов и хребтов. Таким же способом в альпийской зоне учитывались дикие северные олени и медведи. За основу была взята методика учета толсторогов, используемая Н.К. Железновым-Чукотским (1994). На Токинском Становике в 2020-2022 гг. мы применяли ее следующим образом.

В пределах каждого участка были выбраны учетные площадки на открытых склонах, цирках и гребнях хребтов. Их площадь определялась по топографической карте масштаба 1:100000, без учёта рельефа. Наблюдения начинались с 5-6 часов утра (в период максимальной активности животных) и заканчивались с наступлением сумерек. Осмотр площадки проводился каждые 15-20 минут при помощи биноклей 8 и 10-кратного увеличения с просветлённой оптикой. Фиксировалось количество разных животных и групп, посетивших участок за день наблюдений.

Таблица 3. Биотопическое распределение грызунов и пищух по данным учетов ловушками Геро в национально парке «Токинско-Становой» и на сопредельных территориях (по материалам экспедиций 2018, 2020-2022 гг.). **Table 3.** Distribution of rodents and pikas in their habitats according to the censuses carried out with “Hero” spring-loaded bar traps in the Tokinsko-Stanovoy National Park and adjacent territories (based on expeditions of 2018 and 2020-2022).

Биотопы		Годы	Л-с	Виды															
№	Название (индекс)			КП*		КСП		ПГ		ЛП		ЛЛ		АЛМ		Б		П	
				ос.	ос./100 л-с	ос.	ос./100 л-с	ос.	ос./100 л-с	ос.	ос./100 л-с	ос.	ос./100 л-с	ос.	ос./100 л-с	ос.	ос./100 л-с	ос.	ос./100 л-с
1	Лиственничники склонов (Л-скл)	2018	23	0	0	1	4.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	Мари склонов (ЛР-скл)	2018	75	2	2.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		2022	50	0	0	2	4.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		<i>Всего</i>	<i>125</i>	<i>2</i>	<i>1.6</i>	<i>2</i>	<i>1.6</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	
5	Осыпи и скалы склонов (Ос-скл)	2018	25	2	8.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	Лиственничники долин (Л-дол)	2018	50	0	0	2	4.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		2020	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		2021	58	2	3.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		2022	15	7	46.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		<i>Всего</i>	<i>173</i>	<i>9</i>	<i>5.2</i>	<i>2</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	
7	Ельники долин (Е-дол)	2020	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		2021	60	4	6.7	4	6.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		<i>Всего</i>	<i>97</i>	<i>4</i>	<i>4.1</i>	<i>4</i>	<i>4.1</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>		
8	Смешанные пойменные и долинные леса (Смеш-дол)	2018	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		2021	70	17	24.3	0	0	0	0	0	0	0	7	10.0	0	0	1	1.4	
		2022	15	1	6.7	5	33.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		<i>Всего</i>	<i>110</i>	<i>18</i>	<i>16.4</i>	<i>5</i>	<i>4.5</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>7</i>	<i>6.4</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>0.9</i>	
9/6	Границы приречных зарослей и лиственничников (Р/Л-дол)	2018	25	5	20.0	4	16.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
10/6	Границы долинных марей и лиственничников (ЛР-дол/Л-дол)	2021	160	10	6.3	5	3.1	0	0	0	0	1	0.6	0	0	0	0		
11	Прибрежные луга и болота (О-дол)	2018	48	0	0	0	0	7	14.6	0	0	0	0	0	0	0	0		
		2020	200	1	0.5	2	1.0	1	0.5	0	0	0	0	4	2.0	2	1.0	0	

Продолжение таблицы 3.

Биотопы		Годы	Л-с	Виды															
№	Название (индекс)			КП		КСП		ПГ		ЛП		ЛЛ		АЛМ		Б		П	
				ос.	ос./100 л-с	ос.	ос./100 л-с	ос.	ос./100 л-с	ос.	ос./100 л-с	ос.	ос./100 л-с	ос.	ос./100 л-с	ос.	ос./100 л-с	ос.	ос./100 л-с
		<i>Всего</i>	248	1	0.4	2	0.8	8	3.2	0	0	0	0	4	1.6	2	0.8	0	0
17	Заросли кедрового стланика (Ст)	2020	113	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.9	1	0.9	0	0
		2021	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	16.7	0	0
		<i>Всего</i>	143	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.7	6	4.2	0	0
18	Субальпика (Са)	2020	220	0	0	1	0.45	0	0	0	0	0	0	4	1.8	2	0.45	0	0
		2021	125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3.2	0	0	0	0
		2022	65	1	1.5	4	6.2	5	7.7	0	0	1	1.5	0	0	0	0	0	0
		<i>Всего</i>	410	1	0.2	5	1.2	5	1.2	0	0	1	0.2	8	1.9	2	0.5	0	0
19	Осыпи и скалы субальпика (Са-ос)	2020	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		2021	120	0	0	1	0.8	0	0	4	3.3	0	0	0	0	0	0	3	2.5
		<i>Всего</i>	136	0	0	1	0.7	0	0	4	2.9	0	0	0	0	0	0	3	2.2
20/21	Граница альпийских лугов, скал и осыпей (А/А-ос)	2018	50	0	0	1	2.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2.0
		2020	50	0	0	0	0	0	0	3	6.0	0	0	0	0	0	0	1	2.0
		2021	65	0	0	0	0	0	0	8	12.3	0	0	0	0	0	0	1	1.5
		2022	47	0	0	4	8.5	0	0	5	10.6	0	0	0	0	0	0	1	2.1
		<i>Всего</i>	212	0	0	5	2.4	0	0	16	7.5	0	0	0	0	0	0	3	1.4
23	Прибрежные луга и болота высокогорий (О-дол.в)	2020	261	0	0	0	0	9	3.4	0	0	0	0	2	0.8	0	0	0	0
По всем биотопам		2018-2022	2148	52	2.4	36	1.7	22	1.0	22	1.0	2	0.09	22	1.0	10	0.5	7	0.3

Примечания к таблице 3: КП* – красная полевка, КСП – красно-серая полевка, ПГ – полевка Громова, ЛП – лемминговидная полевка, ЛЛ – лесной лемминг, АЛМ – азиатская лесная мышь, Б – азиатский бурундук, П – северная пищуха; номера и индексы биотопов соответствуют приведенным в таблице 1. **Notes to Table 3:** КП* – northern red-backed vole, КСП – grey red-backed vole, ПГ – Gromov's vole, ЛП – lemming vole, ЛЛ – wood lemming, АЛМ – Korean field mouse, Б – Siberian chipmunk, П – northern pika; numbers and indices of biotopes are as shown in Table 1.

Таблица 4. Биотопическое распределение насекомоядных по данным учетов ловушками Геро (над чертой) и почвенными стаканами (под чертой) в национальном парке «Токинско-Становой» и на сопредельных территориях (по материалам экспедиций 2020-2022 гг.).

Table 4. Biotopic distribution of insectivores according to the data obtained with “Hero” spring-loaded bar traps (on the left from the line) and Barber’s pitfall traps (on the right) in the Tokinsko-Stanovoy National Park and adjacent territories (based on expeditions of 2020-2022).

Биотопы		Годы	Л-с	Виды насекомоядных							
№	Название (индекс)			Средняя бурозубка		Крупнозубая бурозубка		Равнозубая бурозубка		Крошечная бурозубка	
				особей	ос/100 л-с	особей	ос/100 л-с	особей	ос/100 л-с	особей	ос/100 л-с
1/4	Граница мари и лиственничника (Л-скл/ЛР-скл)	2022	0/45	0/2	0/4.4	нд*/0	нд/0	нд/0	нд/0	нд/0	нд/0
4	Лиственничная марь (ЛР-скл)	2022	50/0	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд
6	Долинный лиственничник (Л-дол)	2020	50/0	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	1/0	0.4/0	0/нд	0/нд
		2021	58/0	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд
		2022	15/0	3/0	20.0/0	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд
		<i>Всего</i>	<i>123/0</i>	<i>3/0</i>	<i>2.44/0</i>	<i>нд</i>	<i>нд</i>	<i>1/0</i>	<i>0.8/0</i>	<i>нд</i>	<i>нд</i>
6/10	Чересполосица долинного лиственничника и мари (Л-дол/ЛР-дол)	2021	100/225	0/13	0/17.3	2/0	2.0/0	0	0	0/1	0/1.3
7	Долинный ельник (Е-дол)	2020	37/0	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	1/0	0.4/0	0/нд	0/нд
		2021	60/10	0/0	0/0	0/0	0/0	0/2	0/20.0	0/0	0/0
		<i>Всего</i>	<i>97/10</i>	<i>0/нд</i>	<i>0/нд</i>	<i>0/нд</i>	<i>0/нд</i>	<i>1/2</i>	<i>1.04/20.0</i>	<i>0/нд</i>	<i>0/нд</i>
8	Смешанный пойменный лес (Лиственница, береза, ивняк, жимолость) (Смеш-дол)	2021	70/100	0/4	0/8.0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
		2022	15/0	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд
		<i>Всего</i>	<i>85/100</i>	<i>0/4</i>	<i>0/4.0</i>	<i>0/0</i>	<i>0/0</i>	<i>0/0</i>	<i>0/0</i>	<i>0/0</i>	<i>0/0</i>

Продолжение таблицы 4.

Биотопы		Годы	Л-с	Виды насекомоядных							
№	Название (индекс)			Средняя бурозубка		Крупнозубая бурозубка		Равнозубая бурозубка		Крошечная бурозубка	
				особей	ос/100 л-с	особей	ос/100 л-с	особей	ос/100 л-с	особей	ос/100 л-с
10	Лиственничная марь в истоках ключа (ЛР-дол)	2021	60/225	1/2	1.7/2.7	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
11	Открытые берега рек и озер среднегорий (О-дол)	2020	200/0	1/0	0.5/0	0/нд	0/нд	2/0	1.0/0	0/нд	0/нд
17	Заросли стланика (Стл)	2020	113/0	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд
		2021	30/0	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд
		<i>Всего</i>	<i>143/0</i>	<i>0/нд</i>	<i>0/нд</i>	<i>0/нд</i>	<i>0/нд</i>	<i>0/нд</i>	<i>0/нд</i>	<i>0/нд</i>	<i>0/нд</i>
18	Субальпийские луга и болота (Са)	2020	220/480	0/4	0/0.8	0/0	0/0	0/1	0/0.2	0/0	0/0
		2021	125/0	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд
		2022	65/0	2/0	4.0/0	0/нд	0/нд	1/0	2.0	0/нд	0/нд
		<i>Всего</i>	<i>410/480</i>	<i>2/4</i>	<i>0.49/0.83</i>	<i>нд</i>	<i>нд</i>	<i>1/1</i>	<i>0.24/0.21</i>	<i>нд</i>	<i>нд</i>
19	Осыпи в субальпике (Са-ос)	2020	16/0	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд
		2021	120/0	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд
		<i>Всего</i>	<i>136/0</i>	<i>0/нд</i>	<i>0/нд</i>	<i>0/нд</i>	<i>0/нд</i>	<i>0/нд</i>	<i>0/нд</i>	<i>0/нд</i>	<i>0/нд</i>
20/21	Граница курума и льпийского луга (А/А-ос)	2020	50/0	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд
		2021	65/0	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд
		2022	47/0	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд	0/нд
		<i>Всего</i>	<i>162/0</i>	<i>0/нд</i>	<i>0/нд</i>	<i>0/нд</i>	<i>0/нд</i>	<i>0/нд</i>	<i>0/нд</i>	<i>0/нд</i>	<i>0/нд</i>
23	Открытые берега рек и озер в субальпике (О-дол.в)	2020	261/40	0/0	0/0	0/0	0/0	1/0	0.4/0	0/0	0/0
<i>Всего за период наблюдений</i>			<i>1827/1125</i>	<i>7/25</i>	<i>0.38/2.22</i>	<i>2/0</i>	<i>0.11/0</i>	<i>6/3</i>	<i>0.33/0.27</i>	<i>0/1</i>	<i>0/0.09</i>

Примечания к таблице 4. Обозначения: нд – нет данных; номера и индексы биотопов соответствуют приведенным в таблице 1.

Notes to Table 4: нд – no data; numbers and indices of biotopes are as shown in Table 1.



Рис. 2. Участки отлова мелких млекопитающих. *Условные обозначения:* красная линия – граница национального парка «Токинско-Становой». Расположение участков (приводятся координаты точек в центре каждого участка): 1 – «Аначан» (водораздел рек Аначан и Алгама – 55° 44' 56.2" с.ш., 129° 32' 19.5" в.д.), 2 – «Чардат» (среднее и нижнее течение реки Чардат – 55° 42' 41.7" с.ш., 129° 39' 34.6" в.д.), 3 – «Улягир» (бассейны рек Улягир и Нэлэг – 55° 40' 34.2" с.ш., 129° 42' 34.2" в.д.), 4 – «Инарогда» (бассейн верховьев реки Инарогда – 55° 41' 58.9" с.ш., 129° 58' 21.9" в.д.), 5 – «Дугдуй» (окрестности озера Дугдуй – 55° 42' 58.9" с.ш., 130° 07' 00.5" в.д.), 6 – «Перевальное» (окрестности озера на водосборе рек Б. и М. Туксани – 55° 46' 12.3" с.ш., 130° 16' 03.1" в.д.), 7 – «Устье Оюра» (долина р. Б. Туксани близ устьев рек Оюр и Утук-Макит – 55° 47' 39.0" с.ш., 130° 23' 12.1" в.д.), 8 – «Истоки Оюра» (бассейн истоков р. Оюр – 55° 45' 07.2" с.ш., 130° 23' 32.3" в.д.), 9 – «Устье Сивактыляк – Макита» (долина р. Б. Туксани близ устья р. Сивактыляк – Макит – 55° 45' 24.3" с.ш., 130° 24' 56.8" в.д.), 10 – «Перевал Б. Туксани – Сивактыляк 1-й» (район перевала между истоком р. Сивактыляк – Макит (левый приток Б. Туксани) и средним истоком р. Сивактыляк 1-й – 55° 44' 06.4" с.ш., 130° 31' 15.9" в.д.), 11 – «Перевал Зeya – Б. Туксани» (район перевала между истоками рек Зeya и Б. Туксани – 55° 44' 55.4" с.ш., 130° 33' 39.0" в.д.), 12 – «Перевал Тас-Балаган» (район перевала «Тас-Балаган» – 55° 44' 42.4" с.ш., 130° 46' 19.9" в.д.), 13 – «Устье Сивактыляка 1-го» (долина р. Зeya в районе устья р. Сивактыляк 1-й – 55° 37' 42.5" с.ш., 130° 42' 08.3" в.д.), 14 – «Устье Кара-Урека» (долина р. Зeya в районе устья р. Кара-Урек» – 55° 26' 35.6" с.ш., 130° 35' 38.3" в.д.), 15 – «Средний Ток» (долина р. Ток в среднем течении, близ урочища «Красные Скалы» – 55° 39' 11.8" с.ш., 129° 39' 20.2" в.д.). **Fig. 2.** Capture areas for small mammals. *Legend:* the red line marks the border of the Tokinsko-Stanovoy National Park. Location of the capture areas (the coordinates are given for the center of each area): 1 – “Anachan” (watershed of the Anachan and Algama Rivers – N 55° 44' 56.2", E 129° 32' 19.5"), 2 – “Chardat” (middle and low reaches of the Chardat River – N 55° 42' 41.7", E 129° 39' 34.6"), 3 – “Ulyagir” (basins of the Ulyagir and Neleg Rivers – N 55° 40' 34.2", E 129° 42' 34.2"), 4 – “Inarogda” (basin of the upper reaches of the Inarogda River – N 55° 41' 58.9", E 129° 58' 21.9"), 5 – “Dugdui” (territory of Dugdui Lake – N 55° 42' 58.9", E 130° 07' 00.5"), 6 – “Perevalnoye” (territory of the lake in the catchment area of the B. and M. Tuksani Rivers – N 55° 46' 12.3", E 130° 16' 03.1"), 7 – “Oyur Mouth” (valley of the B. Tuksani River near the mouths of the Oyur and Utuk-Makit Rivers – N 55° 47' 39.0", E 130° 23' 12.1"), 8 – “Oyur Source” (basin of the Oyur River source – N 55° 45' 07.2", E 130° 23' 32.3"), 9 – “Sivaktylyak – Makit Mouth” (valley of the B. Tuksani River near the mouth of the Sivaktylyak – Makit River – N 55° 45' 24.3", E 130° 24' 56.8"), 10 – “Tuksani – Sivaktylyak-1 Pass” (area of the pass between the Sivaktylyak – Makit River source (left tributary of the B. Tuksani River) and the middle source of the Sivaktylyak-1 River – N 55° 44' 06.4", E 130° 31' 15.9"), 11 – “Zeya – B. Tuksani Pass” (area of the pass between the Zeya and B. Tuksani Rivers sources – N 55° 44' 55.4", E 130° 33' 39.0"), 12 – “Tas-Balagan Pass” (area of the Tas-Balagan Pass – N 55° 44' 42.4", E 130° 46' 19.9"), 13 – “Sivaktylyak-1 Mouth” (valley of the Zeya River near the mouth of the Sivaktylyak-1 River – N 55° 37' 42.5", E 130° 42' 08.3"), 14 – “Kara-Urek Mouth” (valley of the Zeya River near the mouth of the Kara-Urek River – N 55° 26' 35.6", E 130° 35' 38.3"), 15 – “Sredniy Tok” (valley of the middle reaches of the Tok River near the “Krasnye Skay” area – N 55° 39' 11.8", E 129° 39' 20.2”).



Рис. 3. Участки наблюдений за снежными баранами. *Условные обозначения.* Расположения участков и их географические координаты (приводятся координаты точек в центре каждого участка): 1 – «Аюмкан» (г. Аюмкан; водораздел рек Аюмкан, Луча (Зейская), Саргаканда и Идюм – $55^{\circ} 38' 58.6''$ с.ш., $131^{\circ} 14' 08.5''$ в.д.), 2 – «Перевальное – М. Туксани» (район озера Перевальное; водораздел рек Солокит, Б. и М. Туксани; водораздел рек М. Туксани и М. Оконон – $55^{\circ} 46' 12.3''$ с.ш., $130^{\circ} 16' 03.1''$ в.д.), 3 – «Оюр» (истоки р. Оюр; водораздел рек Оюр, Б. Туксани и Б. Оконон – $55^{\circ} 45' 07.2''$ с.ш., $130^{\circ} 23' 32.3''$ в.д.), 4 – «Зeya – Б. Туксани» (бассейн верховьев рек Зeya, Б. Туксани и Сивактыляк 1-й – $55^{\circ} 44' 06.4''$ с.ш., $130^{\circ} 31' 15.9''$ в.д., $55^{\circ} 44' 55.4''$ с.ш., $130^{\circ} 33' 39.0''$ в.д.), 5 – «Тас-Балаган» (район перевала Тас-Балаган – $55^{\circ} 44' 42.4''$ с.ш., $130^{\circ} 46' 19.9''$ в.д.). **Fig. 3.** Areas of Siberian bighorn sheep observation. *Legend.* Locations and geographical coordinates of central part of each area: 1 – “Ayumkan” (Ayumkan Town; watershed of the Ayumkan, Lucha (Zeyskaya), Sargakanda and Idyum Rivers – N $55^{\circ} 38' 58.6''$, E $131^{\circ} 14' 08.5''$), 2 – “Perevalnoye – M. Tuksani” (near Perevalnoye Lake; watershed of the Solokit, B. and M. Tuksani Rivers; watershed of the M. Tuksani and M. Okonon Rivers – N $55^{\circ} 46' 12.3''$, E $130^{\circ} 16' 03.1''$), 3 – “Oyur” (source of the Oyur River; watershed of the Oyur, B. Tuksani and B. Okonon Rivers – N $55^{\circ} 45' 07.2''$, E $130^{\circ} 23' 32.3''$), 4 – “Zeya – B. Tuksani” (basin of the upper reaches of the Zeya, B. Tuksani and Sivaktylyak-1 Rivers – N $55^{\circ} 44' 06.4''$, E $130^{\circ} 31' 15.9''$, N $55^{\circ} 44' 55.4''$, E $130^{\circ} 33' 39.0''$), 5 – “Tas-Balagan” (Tas-Balagan Pass – N $55^{\circ} 44' 42.4''$, E $130^{\circ} 46' 19.9''$).

Во избежание завышения численности в случае невозможности надежной идентификации особей и групп за показатель учета принималось максимальное количество животных, одновременно отмеченных на участке. Осмотры проводились только, когда вся площадка была свободна от облаков и тумана. На большинстве площадок учет проводился многократно в течение нескольких дней. Для расчета плотности населения использовались

общее число особей, отмеченных в пределах площадки за все учетные дни, и ее площадь, умноженная на количество учетных дней. Обобщенные результаты учетов снежных баранов представлены в таблице 5.

Таблица 5. Плотность населения снежного барана на различных участках Токинского Становика по результатам визуальных учетов на площадках во второй половине лета и осенью (в среднем для всех открытых и полукрытых биотопов высокогорий, включая зоны концентрации). **Table 5.** Population density of the Siberian bighorn sheep in Tokinsky Stanovik based on the results of visual censuses at the sites that were carried out in the late summer – autumn (average for all open and semi-open biotopes of high mountains, including areas of concentration).

Год	Сезон	Часть горной страны	Учетные участки (географическая привязка)*	Отмечено особей	Плотность населения (ос/1000 га)
1993	август	восточная	№ 1 – «Аюмкан» (район истоков р. Аюмкан, г. Аюмкан; водораздел рек Аюмкан, Луча (Зейская), Саргаканда и Идюм)	10	2.5
2009	начало октября	западная	№ 2 – «Перевальное – М. Туксани» (район оз. Перевальное; водораздел рек Солокит, Б. и М. Туксани); водораздел рек Туксани и Оконон)	2	1.3
2018	конец июля	центральная	№ 3 – «Оюр» (истоки р. Оюр; водораздел рек Оюр, Б. Туксани и Б. Оконон); 4 – «Зея – Б. Туксани» (бассейн верховьев рек Б. Туксани и Зея: перевал «Сивактыляк-Макит – Сивактыляк 1-й»)	27	10.4
2020	конец июля – август	центральная	№ 4 – «Зея – Б. Туксани» (бассейн верховьев рек Б. Туксани, Зея и Сивактыляк 1-й)	58	7.2
2021	вторая половина июля	центральная	№ 5 – «Тас-Балаган» (район перевала Тас-Балаган); № 4 – «Зея – Б. Туксани» (бассейн верховьев рек Б. Туксани, Зея и Сивактыляк 1-й)	48	9.3
2022	вторая половина июля – август	центральная	№ 4 – «Зея – Б. Туксани» (бассейн верховьев рек Б. Туксани, Зея и Сивактыляк 1-й); № 3 – «Оюр» (правый исток р. Оюр; водораздел рек Оюр, Б. Туксани и Б. Оконон)	94	10.6

Примечание к таблице 5: * – номера и координаты участков см. на рисунке 3.

Note to Table 5: * – numbers and coordinates of the sites are given in Figure 3.

Необходимо отметить, что при использовании полученных показателей для оценки численности снежных баранов на территории национального парка результаты могут быть несколько завышенными. Это связано с тем, что в таблице 5 обобщены данные полученные как в характерных местообитаниях, так и в пределах зон локальных концентраций вблизи крупных природных солонцов.

Для популяционной группировки снежных баранов кроме учета численности проводилась регистрация полового и возрастного состава отмеченных особей. Учитывая тот факт, что большинство животных наблюдали с расстояния более 500 м, во избежание ошибок для анализа из общего массива наблюдений выделялись только три градации: 1) «взрослые самцы», 2) «самки и молодняк», 3) «сеголетки». В категорию «взрослые самцы» условно включены все особи этого пола старше 2 лет, надежно различаемые на любом расстоянии. В категорию «самки и молодняк» вошли не только взрослые, но и молодые самки, а также молодые самцы до 2 лет включительно, которые часто держатся еще в семейных группах. Данные о половозрастной структуре популяции толсторогов Токинского Становика в 2022 г. приведены в таблице 6.

Таблица 6. Показатели половой и возрастной структуры популяции снежного барана Токинского Становика в разные годы. **Table 6.** Indices of sex and age structure of the Siberian bighorn sheep population in Tokinsky Stanovik collected for different years.

Год	Сезон	Всего		♂ Ad*		♀ Ad** ♀ Sad*** ♂ Sad****		Juv*****		Sp*****	
		абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%
1992	конец июля	15	100	2	13.3	7	46.7	4	26.7	1	6.7
1993	август	10	100	4	40.0	4	40.0	2	20.0	0	0
2009	начало октября	2	100	0	0	0	0	0	0	2	100
2018	конец июля	27	100	4	22.2	13	48.2	8	29.6	0	0
2020	конец июля – август	58	100	7	12.1	38	65.5	9	15.5	4	6.7
2021	июнь – начало июля	540	100	98	18.2	262	48.5	94	17.4	86	15.9
2022	июль-август	94	100	15	16.0	63	67.0	10	10.6	6	6.4

Примечания к таблице 6: ♂Ad* – взрослые самцы (старше 2 лет), ♀ Ad**** – взрослые самки, ♀ Sad*** – молодые самки (1-2 года), ♂ Sad**** – молодые самцы (1-2 года), Juv***** – сеголетки (до 1 года), Sp***** – пол и возраст не определены.

Notes to Table 6: ♂Ad* – adult males (older than 2 years), ♀ Ad**** – adult females, ♀ Sad*** – young females (1-2 years old), ♂ Sad**** – young males (1-2 years old), Juv***** – underyearlings (younger than 1 year), Sp***** – sex and age could not be identified.

В качестве дополнительного метода визуального учёта копытных и хищных использовалась регистрация во время комплексных зоологических маршрутов по встречам на трансекте неопределённой ширины. Ширина полосы учёта определялась по средней дистанции обнаружения. Таким образом, оценивалась плотность населения дикого северного оленя, бурого медведя и горноста в различных биотопах (табл. 7).

Помимо учетов, основанных на визуальных наблюдениях зверей, в 2022 г. проведена оценка их обилия по следам жизнедеятельности (табл. 8). Регистрировались кучки помета некоторых видов крупных млекопитающих (лось, дикий северный олень, кабарга, бурый медведь) в полосе шириной 3 м. У лося отмечался только зимний помет.

Для выявления суммарной нагрузки лося и кабарги на различные биотопы применялся метод учета «по дефекациям» (Сорокина, 1977). Ю.А. Дарман (1994) адаптировал данный метод для Амурской области. Были рассчитаны коэффициенты (Кд), позволяющие быстро перейти от показателя «количество дефекаций на 1 га» к показателю «количество особей на

1000 га». Для этого необходимо разделить полученный показатель учета («количество дефекаций на 1 га») на Кд. Для лося использовался $K_d = 3.02$, для кабарги – $K_d = 2.2$. Для кабарги коэффициент (Кд) был определен эмпирическим путем на основании наблюдений в Зейском заповеднике. Для лося учет по помету показывает ориентировочную зимнюю плотность населения, для кабарги – среднюю по всем сезонам. Для сокоя и медведя получены только показатели относительной численности.

Помимо результатов наших полевых наблюдений к анализу привлечены фондовые данные Управления по охране, контролю и регулированию использования объектов животного мира и среды их обитания Амурской области по учетам млекопитающих на Токинском Становике и сопредельной территории в 2013-2017 гг. (табл. 9).

Результаты и обсуждение

По имеющимся сведениям, фауна млекопитающих Токинско-Станового национального парка включает от 27 до 35 видов, относящихся к 6 отрядам и 14 семействам (табл. 2). Ниже приведены краткие сведения по видам, которые были отмечены, и видам, обитание которых наиболее вероятно.

Отряд Насекомоядные

Средняя бурозубка. Доминирует в сообществах насекомоядных по всему северу Амурской области. Наиболее широко распространенный и массовый вид бурозубок национального парка (фото 1). Средняя попадаемость: в ловушки Геро – 0.38/100 л-с, в линии ловчих стаканов – 2.2/100 ст-с. Отлавливалась на шести участках: № 3 (бассейны рек Улягир и Нэлэг), № 7 (долина р. Б. Туксани в устье р. Оюр), № 11 (перевал «Зея – Б. Туксани»), № 12 (перевал Тас-Балаган), № 13 (долина р. Зея близ устья р. Сивактыляк 1-й), № 14 (долина р. Зея близ устья р. Кара-Урек – вне территории нацпарка, примерно в 10 км южнее его границы, рис. 2). Отмечена в большинстве биотопов, включая субальпийские. Не зарегистрирована в зарослях кедрового стланика и в альпийской зоне. Наиболее многочисленна среди долинных лиственничников (2.4 ос./100 л-с) и марей (1.7 ос./100 л-с, 2.7 ос./100 ст-с), а также на их границах (17.3 ос./100 ст-с, табл. 4).

Равнозубая бурозубка. В Амурской области обычна. Второй по встречаемости в национальном парке вид бурозубок. Средняя попадаемость: в ловушки Геро – 0.33 ос./100 л-с; в линии ловчих стаканов – 0.27 ос./100 ст-с. Отлавливалась на двух участках: № 11 (перевал «Зея – Б. Туксани»); № 13 (долина р. Зея близ устья р. Сивактыляк 1-й; рис. 2). Предпочитает влажные местообитания. Отмечена в долинных лесах и на прибрежных лугах, в том числе в субальпийской зоне (табл. 4). Наиболее многочисленна в долинных лесах с участием ели (1.04 ос./100 л-с; 20.0 ос./100 ст-с).

Крупнозубая (темнозубая) бурозубка. На севере области немногочисленна, на территории нацпарка – редкий вид. Средняя попадаемость в ловушки Геро – 0.11 ос./100 л-с. Отлавливалась только в 2021 г. на участке № 13 (долина р. Зея близ устья р. Сивактыляк 1-й) на стыке долинного лиственничника с кустарниками (стланик, шиповник) и каменными останцами и мари вдоль правого берега реки Зея выше устья р. Сивактыляк 1-й (2.0 ос./100 л-с).

Крошечная бурозубка. На севере области распространена широко, но малочисленна. Для территории парка – редкий вид; средняя попадаемость в стаканы – 0.09 ос./100 ст-с. Единственный экземпляр (взрослый размножающийся самец) был отловлен в 2021 г. на участке № 13 в линию стаканов в лиственничном лесу, со стлаником и шиповником и каменными останцами, с влажными сфагновыми пятнами (багульник, голубика, осоки) и с пятнами зеленомошника и лишайников, вдоль правого берега р. Зея, выше устья р. Сивактыляк 1-й (1.3 ос./100 ст-с).

Таблица 7. Результаты учетов численности млекопитающих в среднегорьях и высокогорьях Токинского Становика по встречам на маршрутах в 2020-2022 гг. **Table 7.** Census results for the number of mammals in the middle and high mountains of Tokinsky Stanovik based on encounters in 2020-2022 along the routes.

Биотопы		Годы	Участки	L (км)	Виды											
№	Название (индекс)				Дикий северный олень				Медведь				Горностай			
					N (ос)	Lcp (м)	S (км ²)	P (ос/1000 га)	N (ос)	Lcp (м)	S (км ²)	P (ос/1000 га)	N (ос)	Lcp (м)	S (км ²)	P (ос/1000 га)
6	Долинные лиственничники (Л-дол)	2020	№ 4 – «Зея – Б.Туксани»	44.0	1	80	3.5	2.9	0	0	0	0	0	0	0	0
		2021	№ 5 – «Тас-Балаган»	10.7	0	0	0	0	1	80	0.9	11.1	0	0	0	0
		2022	№ 4 – «Зея – Б.Туксани»; № 3 – «Оюр»	70.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		<i>Всего</i>			124.7	1	80	10.0	1.0	1	80	10.0	1.0	0	0	0
9	Русла рек и прибрежные заросли среднегорий (Р)	2020	№ 4 – «Зея – Б.Туксани»	9.0	0	0	0	0	1	600	5.4	1.8	0	0	0	0
		2021	–	1.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		<i>Всего</i>			10.6	0	0	0	0	1	600	6.4	1.6	0	0	0
11	Безлесные открытые участки речных долин и берегов озер низкогорий и среднегорий (О-дол)	2020	№ 4 – «Зея – Б.Туксани»	15.0	1	100	1.5	6.7	0	0	0	0	0	0	0	0
		2021	№ 5 – «Тас-Балаган»	2.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		2022	№ 4 – «Зея – Б.Туксани»	3.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		<i>Всего</i>			20.6	1	100	2.1	4.8	0	0	0	0	0	0	0
17	Заросли кедрового стланика и иные криволесья (Стл)	2020	№ 4 – «Зея – Б.Туксани»	21.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		2021	№ 5 – «Тас-Балаган»	7.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		2022	№ 4 – «Зея – Б.Туксани»; № 3 – «Оюр»	16.0	1	100	1.6	6.2	0	0	0	0	0	0	0	0
		<i>Всего</i>			44.7	1	100	4.5	2.2	0	0	0	0	0	0	0
18, 19	Субальпика: луга, болота, кустарники; осыпи и скалы (Са, Са-ос,ск)	2020	№ 4 – «Зея – Б.Туксани»	34.5	2	100	3.5	5.7	1	200	6.9	1.4	0	0	0	0
		2021	№ 5 – «Тас-Балаган»	39.3	6	558	21.9	2.7	5	640	25.2	2.0	0	0	0	0
		2022	№ 4 – «Зея – Б.Туксани»; № 3 – «Оюр»	53.0	2	145	7.7	2.6	0	0	0	0	1	5	0.3	33.3
		<i>Всего</i>			92.3	10	268	24.7	4.1	6	420	38.8	1.5	1	5	0.5

Продолжение таблицы 7.

Биотопы		Годы	Участки	L (км)	Виды												
№	Название (индекс)				Дикий северный олень				Медведь				Горностай				
					N (ос)	Lcp (м)	S (км ²)	P (ос/1000 га)	N (ос)	Lcp (м)	S (км ²)	P (ос/1000 га)	N (ос)	Lcp (м)	S (км ²)	P (ос/1000 га)	
20, 21	Альпика: луга, горные тундры, гольцы, скалы и осыпи альпийской зоны (А, А-ос,ск)	2020	№ 4 – «Зея – Б.Туксани»	46.5	0	0	0	0	1	1500	69.7	0.14	0	0	0	0	
		2021	№ 5 – «Тас-Балаган»	37.5	1	600	22.5	0.5	5	1540	57.8	0.9	0	0	0	0	
		2022	№ 4 – «Зея – Б.Туксани»; № 3 – «Оюр»	41.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	5	0.2	100.0
		<i>Всего</i>			<i>125.0</i>	<i>1</i>	<i>600</i>	<i>75.0</i>	<i>0.13</i>	<i>6</i>	<i>1520</i>	<i>190.0</i>	<i>0.32</i>	<i>2</i>	<i>5</i>	<i>0.63</i>	<i>31.7</i>
22	Руслу водотоков и прибрежные заросли в высокогорьях (Р-в)	2021	№ 5 – «Тас-Балаган»	9.8	0	0	0	0	1	600	0	0	0	0	0	0	
23	Открытые участки речных долин и берегов озер в высокогорьях (О-дол.в)	2021	№ 5 – «Тас-Балаган»	12.9	1	700	9.0	1.1	0	0	0	0	0	0	0	0	
		2022	–	3.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		<i>Всего</i>			<i>15.9</i>	<i>1</i>	<i>700</i>	<i>11.1</i>	<i>0.9</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
<i>Всего за 2020-2022</i>				<i>443.6</i>	<i>15</i>	<i>308</i>	<i>136.6</i>	<i>1.1</i>	<i>15</i>	<i>644</i>	<i>285.7</i>	<i>0.5</i>	<i>3</i>	<i>5</i>	<i>2.2</i>	<i>13.6</i>	

Примечание к таблице 7. Обозначения: L – длина учетных маршрутов в километрах; N – количество отмеченных особей; Lcp – средняя дистанция обнаружения в метрах; S – площадь учетной полосы в квадратных километрах; P – плотность населения в особях на 1000 га; порядковые номера и индексы биотопов соответствуют приведенным в таблице 1; номера и координаты учетных участков соответствуют приведенным на рисунке 3. **Notes to Table 7:** L – length of the routes (km), N – number of registered individuals, Lcp – average detection distance (m), S – total area of the census transect (km²), P – population density (ind./1000 ha), serial numbers and indices of biotopes correspond to those given in Table 1; the numbers and coordinates of the sites are given in Figure 3.

Таблица 8. Учет крупных млекопитающих в среднегорьях и высокогорьях Токинского Становика по дефекациям 13.07 – 21.08. 2022 г. (бассейны истоков и верховьев рек Зeya, Б. Туксани, Сивактыляк 1-й, Оюp). **Table 8.** Census of large mammals in the middle and high mountains of Tokinsky Stanovik by their scat, from 13/07/22 to 21/08/22, in the basins of the sources and upper reaches of the Zeya, B. Tuksani, Sivaktylyak-1 and Oyur Rivers.

Биотопы		L (км)	Виды									
			Лось*			Дикий северный олень		Кабарга			Медведь	
№	Названия, индексы		экскр.	экскр./га	особей/1000 га	экскр.	экскр./га	экскр.	экскр./га	особей/1000 га	экскр.	экскр./га
6, 9	Долинные лиственничники (Л-дол), русла рек и приречные заросли (Р) среднегорий	70.0	71	3.4	1.1	35	1.7	4	0.2	0.1	9	0.43
11	Долинные луга и болота (О-дол) среднегорий	6.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Всего в «среднегорьях»: ниже 1500 м. н.у.м. БС		76.0	71	3.1	1.0	35	–	4	0.17	0.08	9	0.39
17	Заросли кедрового стланика (Стл)	16.0	0	0	0	3	0.63	3	0.63	0.3	8	1.7
18	Субальпийские луга, болота и заросли кустарников (Са)	53.0	0	0	0	17	1.1	0	0	0	2	0.13
20	Альпийские луга, горные тундры и гольцы (А)	41.0	0	0	0	3	0.24	0	0	0	5	0.4
Всего в «высокогорьях»: от 1400 до 2100 м н.у.м. БС		110.0	0	0	0	23	0.7	3	0.09	0.04	15	0.45
<i>Всего</i>		<i>186.0</i>	<i>71</i>	<i>2.3</i>	<i>0.75</i>	<i>58</i>	<i>1.0</i>	<i>7</i>	<i>0.13</i>	<i>0.06</i>	<i>24</i>	<i>0.43</i>

Примечание к таблице 8: Лось* – учитывались только зимние экскременты. **Notes to Table 8:** Moose* – only its winter scat was counted.

Таблица 9. Плотность населения (особей/1000 га) охотничье-промысловых животных на территории Токинского заказника и на сопредельных территориях в 2013-2017 гг. (по учетным данным Управления по охране, контролю и регулированию использования объектов животного мира и среды их обитания Амурской области). **Table 9.** Population density (ind./1000 ha) of game animals in 2013-2017 in the Tokinsky Nature Reserve and adjacent territories, according to the data from the Department for the Protection, Control and Regulation Management of Wildlife Objects and Their Habitats in the Amur Region.

Участок	Площадь, га	Лось	Северный олень	Кабарга	Соболь	Горностай	Заяц	Белка	Волк	Рысь	Росомаха
2013 год											
ГПЗ Токинский	251000	*	*	0.41	0.41	0.72	0.14	1.08	0	0	0.02
ООО Бомнак	1390800	0.30	0.23	0.81	4.12	0.05	0.23	1.46	0.01	0	0
РО КМНС Юктэ**	1268000	0.37	0.37	0.32	1.43	0.23	1.49	0.71	0.08	0.01	0.02
2014 год											
ООО Бомнак – малый участок	530000	0.48	0.35	1.60	4.35	н.д.	0.30	3.02	0.05	0.15	0.01
ООО Бомнак – большой участок	860800	0.25	0.72	2.76	4.97	н.д.	н.д.	1.03	0.03	0.06	0.02
РО КМНС Юктэ**	1268000	0.69	0.55	1.0	3.13	1.27	1.82	0.76	0.20	0.05	0.03
2015 год											
ООО Бомнак	530000	0.51	1.52	2.90	3.84	0.23	0.63	2.91	0.02	0.11	0
УОП*** Зейского района	2936600	0.29	0.22	0.32	0.15	0.62	0.63	0.40	0.04	0	0.02
2016 год											
УОП*** Зейского района	2936600	0.75	0.88	1.05	1.92	0.05	1.78	1.47	0.04	0	0.02
2017 год											
Зейский ООУ****	2936600	0.45	0.28	0.40	0.83	0.21	0.84	0.79	0.01	0	0.01
В среднем		0.45	0.57	1.2	2.5	0.42	0.87	1.36	0.05	0.04	0.02

Примечания к таблице 9. * – в период проведения ЗМУ (вторая половина зимы) лось и северный олень перемещаются на сопредельные территории из-за глубокоснежья, н.д. – вид не отмечен при проведении ЗМУ, РО КМНС Юктэ** – родовые охотничьи угодья общины КМНС «Юктэ», УОП*** – угодья общего пользования, ООУ**** – общедоступные охотничьи угодья. **Notes to Table 9:** * – during the winter census moose and reindeer moved out to the adjacent territories due to extremely deep snow, н.д. – the species was not encountered during the winter census, РО КМНС Юктэ** – ancestral hunting grounds of the tribal community Yukte of the indigenous people of the North, УОП*** – common lands, ООУ**** – public hunting grounds.



Фото 1. Средняя бурозубка доминирует в сообществах насекомоядных по всему северу Амурской области (фото С.А. Подольского). **Photo 1.** Laxmann's shrew is dominant in *Eulipotyphla* communities throughout the north of the Amur Region (photo by S.A. Podolskiy).

Отряд Рукокрылые

Восточная ночница. Один из наиболее обычных видов рукокрылых Дальнего Востока (фото 2). В 2021 г. с помощью отлова паутинными сетями установлено обитание восточной ночницы на территории национального парка, на участке № 13 (рис. 2). В сетку, установленную 28.07.2021 над левобережной протокой реки Сивактыляк 1-й в пойменном тополёво-лиственничном кустарниковом разнотравном лесу (55.62638 с.ш., 130.70210 в.д.), отловлены 2 самца. Зверьки помечены индивидуальными алюминиевыми кольцами (29-01992 и 29-01993) и отпущены в месте поимки.



Фото 2. Восточная ночница отмечена на территории национального парка, в пойменном лесу близ устья р. Сивактыляк 1-й. (фото А.А. Кадетовой). **Photo 2.** Eastern water bat was found in the national park, in a floodplain forest near the mouth of the Sivaktylyak-1 River (photo by A.A. Kadetova).

Отряд Зайцеобразные

Северная пищуха. Обычный, местами многочисленный вид. Наиболее характерна для каменистых участков и курумов субальпийской и альпийской зоны (фото 3). Средняя попадаемость в ловушки Геро составила 0.3 ос./100 л-с (табл. 3). В 2020 и 2022 гг. была многочисленна на курумах альпийской и субальпийской зоны и зарослей кедрового стланика в районе перевала «Зея – Б. Туксани». Здесь в 2020 г. А.И. Антонов сделал снимок пищухи с черной окраской (55.74814 с.ш., 130.57227 в.д.; фото 4). В августе 2022 г. похожего зверька с темной окраской наблюдали у края курума близ линии ловушек Геро между правым истоком реки Зея и левым истоком реки Б. Туксани. Близ перевала «Тас-Балаган» в 2021 г. пищуха была столь же многочисленна, как на перевале «Зея – Б. Туксани». Большинство крупных жилых колоний отмечено в старых осыпях со средним размером камней, расположенных в субальпийской зоне и среди зарослей кедрового стланика, где вид показал максимальную относительную численность – 2.5 ос./100 л-с. Пищуха является основным объектом охоты горностая – наиболее многочисленного хищника высокогорий Токинского Становика. В 2022 г. на колониях пищухи 3 раза наблюдали охотящихся горностаев.



Фото 3. Северная пищуха – характерный вид каменистых россыпей (фото С.А. Подольского).

Photo 3. Northern pika is a common species of the stone runs (photo by S.A. Podolskiy).

Заяц-беляк. На рассматриваемой территории – немногочисленный вид. Показатели обилия резко меняются по годам, порой на порядок. Годы высокой и низкой численности чередуются с определённой цикличностью. В северной части Дальневосточного региона большие «урожаи» беляка бывают через 10-12 лет. Осенью зайцы предпочитают поймы рек, а весной могут подниматься в субальпийский и альпийский пояс. Плотность населения зайца на территории, ныне относящийся к национальному парку, по данным ЗМУ 2013 г., составляла 0.14 ос./1000 га. В среднем по Амурской части Токинского Становика

и сопредельной территории (по учетным данным Управления по охране, контролю и регулированию использования объектов животного мира и среды их обитания Амурской области) в 2013-2017 гг. плотность населения беляка составляла 0.87 ос./1000 га, изменяясь от 0.14 до 1.78 ос./1000 га (табл. 8). Летом 2020 г. помет беляка был обычен в субальпийской и альпийской зонах близ перевала «Зея – Б. Туксани». В 2022 г. помет этого вида встречался здесь значительно реже и был отмечен только в альпийской зоне. В июле 2021 г. помет беляка отмечался в районе перевала «Тас-Балаган», где вид был также немногочислен.



Фото 4. В национальном парке изредка отмечаются пищухи с черной окраской (фото А. Антонова). **Photo 4.** Black-coated pikas are a rare sight in the national park (photo by A. Antonov).

Отряд Грызуны

Обыкновенная летяга. Немногочисленный вид (фото 5). Летом 2018 г. была отмечена в верховьях р. Улягир. В дуплах старой лиственницы, наклоненной над левым бортом ручья (55° 41' 37.1" с.ш., 129° 52' 44.4" в.д.), жило не менее четырех летяг. В 2021 г. одного зверька наблюдали в устье р. Кара-Урек (участок № 14) в полосе прибрежного березово-лиственничного леса (рис. 2).

Обыкновенная белка. На территории национального парка – редкий или немногочисленный вид. Основные места обитания белки на территории национального парка – высокоствольные лиственничники и елово-лиственничные леса в долинах рек, а также горные ельники. Основными факторами, влияющими на численность белки, являются урожай лиственницы и ели, а также ряд климатических факторов и пожары. Плотность населения белки на изучаемой территории, по данным ЗМУ 2013 г., составляла 1.08 ос./1000 га. На Амурской части Токинского Становика и сопредельной территории (по учетным данным Управления по охране, контролю и регулированию использования объектов животного мира и среды их обитания Амурской области) средняя плотность населения за 2013-2017 гг. составляла 1.36 ос./1000 га, изменяясь от 0.4 до 3.02 ос./1000 га. В 2009 г. белку видели в разреженных лиственничниках плато Оконон. В 2018, 2020 и 2021 гг. белка на территории нацпарка была редким видом. В 2020 г. в истоках реки Зея были обнаружены еловые шишки, поеденные белкой.



Фото 5. Летяга – обычный немногочисленный вид лесного пояса (фото С.А. Подольского).
Photo 5. Siberian flying squirrel is a common, but not quite numerous species of the forest zone (photo by S.A. Podolskiy).

Азиатский бурундук. Многочисленный вид. Встречается в большинстве биотопов. Средняя попадаемость в ловушки Геро – 0.5 ос./100 л-с (табл. 3). Максимальная попадаемость отмечена в зарослях кедрового стланика – 4.2 ос./100 л-с (фото 6). В районе перевала «Зея – Б. Тусани» в 2020 и 2022 гг. был чрезвычайно многочислен, зарегистрирована локальная концентрация бурундуков вблизи базы. Зверьки активно использовали и запасали пищевые отходы людей. Дважды отмечено посещение и использование бурундуком природного солонца; зверьки облизывали и грызли минерализованный грунт. Близ перевала «Тас-Балаган» (2021 г.) бурундуки отмечались в большинстве биотопов, кроме альпийской зоны. Этот вид был наиболее многочислен в субальпийской зоне и в зарослях кедрового стланика.

Камчатский (черношапочный) сурок. Занесен в Красные книги Амурской области (2009, 2020), Республики Саха (2019) и РФ (2021) как вид с неопределенным статусом. В Красной книге РФ ареал прибайкальского сурка частично включает Становое нагорье. В разные годы из разных источников поступали непроверенные устные сообщения о нахождении колоний в западной части Станового хребта или о добыче зверьков. В Красной книге Республики Саха (2019) приведены достоверные сведения Е.В. Шемякина об обнаружении в июне 2016 г. жилого поселения сурков (визуально отмечены три особи и бутан с жилыми норами) на северном макросклоне западной части Станового хребта, на истоке р. Буржуйки (левый приток реки Алдан, северный макросклон хребта Зверева).

Летом 2018 г. жилые норы и свежие тропинки, предположительно, принадлежащие черношапочным суркам, были обнаружены в цирке безымянного ключа (следующий левый приток р. Б. Тусани выше и восточнее по течению р. Оюр: 55° 45' 24.3" с.ш., 130° 24' 56.8" в.д.; 55° 45' 24.6" с.ш., 130° 25' 00.0" в.д.; 55° 45' 24.4" с.ш., 130° 25' 02.3" в.д.). Дважды слышали характерный тревожный свист сурков. Диаметр нор – 12-15 см, они аналогичны норам поселений черношапочных сурков на Верхоянском хребте. Обнаруженная колония находится на территории Якутии, примерно в 500 м севернее границы национального парка «Токинско-Становой». Для подтверждения обитания черношапочного сурка непосредственно на территории парка необходим специальный поиск колоний в высокогорьях.



Фото 6. Бурундук – типичный обитатель зарослей кедрового стланика (фото О. Агни).
Photo 6. Siberian chipmunk is a typical species of the thickets of dwarf pine (photo by O. Agni).

Красная полевка. Обычный, местами многочисленный вид (фото 7). Средняя попадаемость в 2018-2022 гг. – 2.4 ос./100 л-с (табл. 3). Характерный обитатель долинных лесов и марей, где она достигает максимальной численности; значительно реже встречается среди пойменных и субальпийских лугов (табл. 3). Вид отлавливался на девяти участках: 1, 2, 3, 7, 8, 11, 13, 14, 15 (рис. 2). В 2009 г. красная полевка отмечалась в долине р. Чардат, а также на плато Оконон; в 2018 г. отлавливалась в бассейнах рек Аначан, Чардат, Улягир, Зея (ниже метеостанции «Локшак» – вне территории парка). В 2022 г. полевка доминировала среди мелких млекопитающих долинных лесов верховьев р. Б. Туксани (46.6 ос./100 л-с). Кроме того, вид единично отлавливался на влажных субальпийских лугах правого истока р. Оюр.

Красно-серая полевка. Обычный, местами многочисленный, широко распространенный вид. По средней попадаемости в 2018-2022 гг. (1.7 ос./100 л-с) уступает только красной полевке (табл. 3). Вид с наиболее широким спектром местообитаний. Обычен как в большинстве лесных биотопов, так и среди пойменных и субальпийских лугов (табл. 3). Красно-серая полевка отлавливалась на восьми участках: № 2, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13 (рис. 2). В 2022 г. эта полевка была обычна в субальпийской зоне перевала «Зея – Б. Туксани» (8.0 ос./100 л-с); в 2021 г. в районе перевала «Тас-Балаган» отмечалась в субальпийской зоне, в зарослях кедрового стланика и в долинных заболоченных редколесьях, где была наиболее многочисленна (1.7 ос./100 л-с).

Лемминговидная полевка. Охраняемый вид, занесенный в Красную книгу Амурской области (2009, 2020), категория 3 – редкий вид с большими разрывами ареала. До наших исследований достоверные находки отмечены лишь для западной части хребта Тукурингра (вне территории Зейского государственного заповедника). Средняя попадаемость на Токинском Становике в 2018-2022 гг. – 1.0 ос./100 л-с. Вид, устойчиво тяготеющий к определенному типу местообитаний – каменистым россыпям на стыке альпийской и субальпийской зоны, где доминирует при средней численности 7.5 ос./100 л-с. Отмечена

всего на двух участках, включающих высокогорья: № 11 и 12 (рис. 2). В 2020 г. отмечена на водоразделе истоков рек Зея и Б. Туксани (участок № 11) у границы курумника и горных тундр с куртинами кедрового стланика. В 2022 г. доминировала в этом биотопе альпийской зоны (14.9 ос./100 л-с). В 2021 г. близ перевала «Тас-Балаган» (участок № 12) лемминговидная полевка выступала как вид, доминирующий в сообществе мышевидных грызунов. Наиболее многочисленна была у нижних границ курумов и альпийских лугов – 10.8 ос./100 л-с. Также отмечена на каменистых участках в субальпийской зоне и среди зарослей кедрового стланика.



Фото 7. Красная полевка – обычный обитатель долин и марей национального парка (фото С.А. Подольского). **Photo 7.** Northern red-backed vole is a common species of the valleys and dwarf birch bogs of the park (photo by S.A. Podolskiy).

Полевка Громова. Другое название – шантарская полевка. Ранее считалось, что область распространения этого вида ограничивается юго-восточной Якутией и южной частью Западного Приохотья (Докучаев, Шереметьева, 2017). В национальном парке sporadически распространенный вид, связанный с луговыми местообитаниями по берегам озер и влажными субальпийскими лугами, где может достигать высокой численности. На территории Амурской области была впервые обнаружена в 2018 году. Учетная линия располагалась на берегу озера в бассейне верховьев р. Инарогда, на западной оконечности плато Оконон (55° 41' 58.9" с.ш., 129° 58' 21.9" в.д., участок № 4; рис. 2). Биотоп – безлесные берега озера с мхом, лишайником, ерником, карликовой березой, курильским чаем, аконитом. Летом 2020 и 2022 гг. вид отлавливался в субальпийской зоне перевала «Зея – Б. Туксани» (№ 11; рис. 2). В 2022 г. популяция полевки Громова на влажном субальпийском лугу с куртинами ивняка и ерника составила 10.0 ос./100 л-с. Средняя популяция полевки Громова на Токинском Становике в 2018-2022 гг. составила 1.0 ос./100 л-с.

Полевка-экономка. Находки этого вида известны для северных предгорий и низкогорий Станового хребта (Чевычелов и др., 2010). В центральной части Токинского Становика нами не отлавливалась. Обитание вида на территории национально парка возможно, но нуждается в подтверждении.

Лесной лемминг. Редкий или немногочисленный вид. Встречается в различных биотопах с развитым моховым покровом. Плохо отлавливается в ловушки Геро. Средняя попадаемость в 2018-2022 гг. – 0.09 ос./100 л-с. В 2021 г. единственный экземпляр (взрослая размножающаяся самка) отловлен в линию ловушек в лиственничном лесу с кустарниками (стланик, шиповник) и каменными останцами, пятнами влажной сфагновом (багульник, голубика, осоки), пятнами зеленомошном и лишайниковом вдоль правого берега реки Зея выше устья р. Сивактыляк 1-й (55.628913 с.ш., 130.70275 в.д.), на территории нацпарка (участок № 13; рис. 2). В 2022 г. лесной лемминг был отловлен на влажном субальпийском лугу с участками сфагновых болот в истоках реки Оюр (№ 8; рис. 2). Кроме того, погибший лесной лемминг был обнаружен в долинном лиственничнике верховьев р. Б. Туксани (№ 7; рис. 2).

Амурский лемминг. Занесен в Красную книгу Амурской области (2020) как редкий реликтовый и крайне малочисленный вид. Включен в приложение к Красной книге РФ «Перечень объектов животного мира, нуждающихся в особом внимании» (2000). Местообитания приурочены к увлажненным долинам и заболоченным седловинам с разнотравно-злаково-осоковой растительностью и моховым покровом в наземном ярусе. Известны находки в предгорьях хр. Соктахан, на Верхнезейской низменности в районе устья р. Арги (Красная книга Амурской области, 2009) и в бассейне верхнего течения реки Алдан (Ревин, Попов, 1988; Ревин, 1989). По данным опросов, амурский лемминг встречается в долине р. Нуям, примерно в 50-60 км к юго-западу от западной границы Токинско-Станового национального парка (А.П. Красикова – устное сообщение). Обитание вида на территории национального парка, возможно, но нуждается в подтверждении. С этой точки зрения наиболее перспективно обследование марей по долинам и водоразделам рек Ток, Чардат и Улягир, а также водно-болотных угодий плато Оконон (Токско-Туксанийское плато).

Восточноазиатская мышь (азиатская лесная мышь). Встречается, как в Амурской области, так и в Якутии. В Якутии азиатская лесная мышь тяготеет к развитым пойменным лесам равнин и низкогорий (Чевычелов и др., 2010). До последнего времени высокогорья Станового хребта рассматривались, как место разрыва ареала этого вида. Ранее на севере Амурской области восточноазиатская мышь отмечалась только в дубово-черноберезовых и высокоствольных смешанных долинных лесах. Самой северной точкой находки восточноазиатской мыши в Приамурье считалась долина реки Зея в 8 км ниже метеостанции «Локшак». В 2020 г. азиатская лесная мышь была обнаружена в субальпийской зоне перевала «Зея – Б. Тусани» (участок № 11; рис. 2), где относилась к обычным видам. В 2021 г. отлавливалась и в районе перевала «Тас-Балаган» (№ 12; рис. 2). Отмечена в субальпийской зоне и в долинных заболоченных редколесьях, где была наиболее многочисленна (5.0 ос./100 л-с). В 2022 г. доминировала в субальпийской зоне истоков р. Оюр (20.0 ос./100 л-с, № 8; рис. 2). Средняя попадаемость на Токинском Становике в 2018-2022 гг. составила 1.0 ос./100 л-с.

Отряд Хищные

Бурый медведь. Обычный или многочисленный вид. Распространен по всей изучаемой территории, встречается в большинстве биотопов (табл. 7, 8). Наиболее характерными местообитаниями являются долинные леса и приречные заросли (фото 8), субальпийский пояс (табл. 7) и заросли кедрового стланика. Численность медведей на территории национального парка резко меняется по годам.

Так, летом 2021 г. показатели обилия медведей в пределах национального парка и на прилегающей территории были близки к максимальным. В районе перевала «Тас-Балаган» (участок № 5; рис. 3) было отмечено 12 визуальных встреч бурых медведей, плотность населения составила: в альпике – 0.9 ос./1000 га, в субальпике – 2.0 ос./1000 га, в среднем по высокогорьям – 1.1 ос./1000 га, в среднем по району работ – 1.12 ос./1000 га.

Дважды отмечалась самка с двумя медвежатами, остальные встречи относились к одиночным особям. Напротив, летом 2022 г. численность медведей в высокогорьях центральной части Токинского Становика, вероятно, была близка к минимальной: визуальных встреч не отмечено, получены лишь данные об относительном обилии медведей в разных биотопах, на основании регистрации помета (табл. 8). Средняя плотность населения по визуальным встречам на маршрутах в 2020-2022 гг. составила 0.5 ос./1000 га (табл. 7). На этом основании общую численность медведей в национальном парке, имеющим площадь около 253 тыс. га, можно примерно оценить в 110-130 особей.

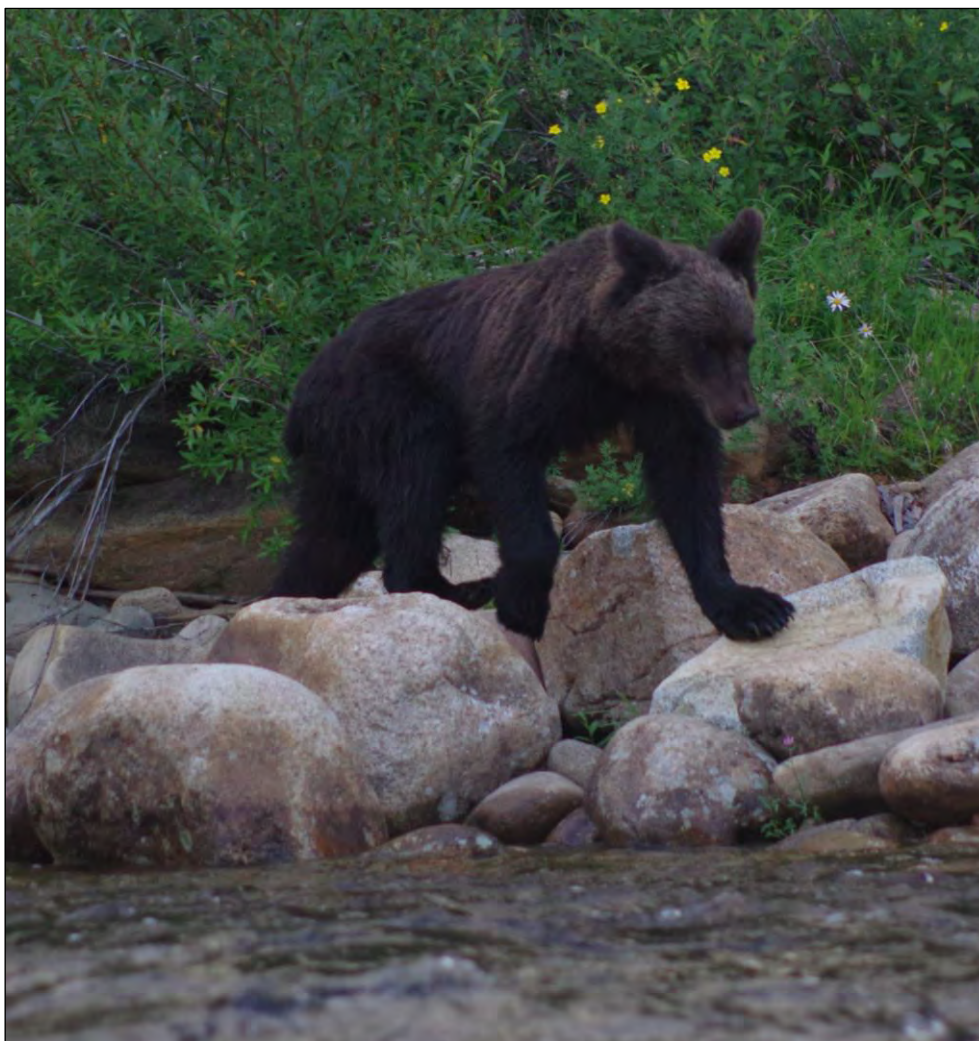


Фото 8. Молодой медведь на берегу реки (фото С. Дудова).
Photo 8. Young brown bear on a river bank (photo by S. Dudov).

На территории национального парка в юго-западных предгорьях и низкогорьях Токинского Становика, бурые медведи наносят ущерб стадам домашних оленей. Их жертвами обычно становятся оленята, реже – взрослые олени. По сообщениям оленеводов весной 2022 г., в период отела домашних оленей, медведи постоянно посещали окрестности базы на устье р. Нэлэг (участок № 3; рис. 2). Отмечено не менее восьми медведей, пытавшихся охотиться на оленят. Зверей отпугивали выстрелами. Также для этого использовались собаки и постоянно поддерживаемые дымокуры. В западной части

национального парка, прилегающей к трассе «Улак – Эльга», медведи, привыкшие к присутствию человека, могут представлять реальную угрозу не только для домашних оленей, но и для людей.

Росомаха. Численность росомахи на территории национального парка невелика. Росомаха, как и волк, заходит на Токинский Становик по долинам крупных рек и ручьев до выпадения глубокого снежного покрова, обитая в основном в угодьях с высокой плотностью населения кабарги. Средняя плотность населения росомахи на рассматриваемой территории в 2013 г. составляла 0.02 ос./1000 га. На сопредельной территории в 2013-2017 гг. составляла 0.03 ос./1000 га, изменяясь от 0.01 до 0.11 ос./1000 га (табл. 9). Летом 2018 г. следы росомахи отмечены на прибрежной косе выше устья р. Отобок. В июле 2021 г. помет росомахи с шерстью кабарги единично отмечен в долинном лесу левого истока р. Тас-Балаган на склоне под выворотнем (55.730°с.ш., 130.759°в.д., участок № 5; рис. 3).

Соболь. Обычный, вероятно, наиболее многочисленный вид хищников лесной зоны национального парка (фото 9). Средняя плотность населения соболя по южным предгорьям Токинского Становика и северу Зейского района составляет 2.5 ос./1000 га (табл. 9). Непосредственно на территории ныне относящейся к национальному парку этот показатель в 2013 г. составлял 0.4 ос./1000 га. В оптимальных биотопах – горных лиственничниках с кедровым стлаником и аянских ельниках в истоках ключей, соболей может быть на порядок больше. Напротив, в субальпийской и альпийской зоне соболь редок. В районе перевалов «Зея – Б. Туксани» (по наблюдениям 2020-2022 гг.) и «Тас-Балаган» (2021 г.), а также в верховьях рек Б. и М. Туксани (2009, 2018, 2020, 2022 гг.) соболь был немногочислен. Соболей, загнанных собаками на деревья, наблюдали в среднем течении р. М. Туксани (2009 г.) и на водоразделе рек Б. и М. Туксани при спуске в Б. Туксани от озера Перевального (2018 г.). В 2022 г. помет соболя единично отмечен на прибрежных камнях в долине правого притока ключа Утук-Макит. Этот вид является основным объектом традиционного пушного промысла эвенкийских общин.

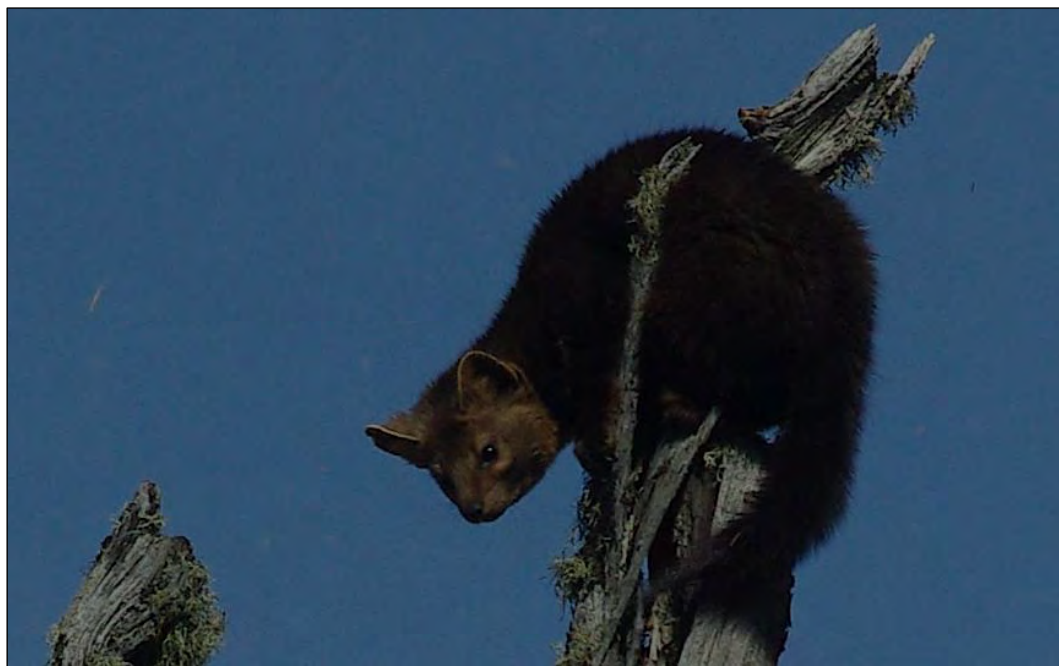


Фото 9. Соболь – наиболее многочисленный вид хищников в пределах лесного пояса Токинского Становика (фото С.А. Подольского). **Photo 9.** Sable is the most widespread predator in the high mountains of the forest zone of Tokinsky Stanovik (photo by S.A. Podolskiy).

Горностай. Обитает на всей территории национального парка, но распространен крайне неравномерно: в высокогорьях многочислен, в лесной зоне – редок или немногочислен. Наиболее массовый вид хищников высокогорий центральной части Токинского Становика (фото 10). Помет горностая несколько раз отмечался в субальпийской зоне на камнях близ крупных колоний пищух в районе перевалов «Зея – Б. Туксани» и «Тас-Балаган». Летом 2022 г. в районе перевала «Тас-Балаган» и на прилегающих хребтах отмечено три визуальных встречи горностаев на минимальной дистанции. Во всех случаях зверьки наблюдались вблизи колоний пищух. По данным учета на трансектах в 2020-2022 гг. плотность населения горностая составила: в субальпийской зоне – 20.0 ос./1000 га, в альпийской зоне – 31.7 ос./1000 га (табл. 7). В среднем по территории, ныне относящейся к национальному парку, этот показатель в 2013 г. составлял всего 0.73 ос./1000 га.



Фото 10. Горностай – самый многочисленный хищник высокогорий; чаще всего встречается на курумах, вблизи колоний пищух (фото С.А. Подольского). **Photo 10.** Stoats are the most numerous predators in the high mountains, usually found on the stone runs near the colonies of pikas (photo by S.A. Podolskiy).

Ласка. Постоянно обитает в Зейском заповеднике и в южных районах Якутии. Достоверных находок на южном макросклоне Токинского Становика не известно. Обитание на территории национального парка, возможно, но нуждается в подтверждении.

Колонок. На севере Амурской области в настоящее время редок. Основная причина – конкурентное давление и прямое истребление со стороны соболя. Обитает на территории Зейского заповедника. В 1970-х гг. встречался в верховьях реки Зея вплоть до устья р. Оконон (устное сообщение Н.И. Абоимова). На территории национального парка колонок нами не отмечался, но есть небольшая вероятность заходов.

Американская норка. Вид-интродуцент. На севере Амурской области специального расселения норок не проводилось, в природу попадали зверьки, сбежавшие со звероферм. Это приобрело массовый характер в начале 1990-х гг., во время быстрого распада звероводства. Уже к 2000-м годам норки широко расселились по берегам водоемов Зейского района и стали отмечаться в Зейском заповеднике. В Токинско-Становом национальном парке американская норка еще не регистрировались, но ее следы отмечались в долине реки

Зея рядом с южной границы ООПТ – в районе устья р. Кара-Урэк (участок № 14; рис. 2). Не вызывает сомнений, что норка может проникать и выше по долине реки Зея, но ее обитание на территории национального парка пока нуждается в подтверждении.

Выдра. На севере Амурской области – редкий вид. Зарегистрирован единственный кратковременный заход на территорию Зейского заповедника. Выдра не отмечалась на территории национального парка, есть небольшая вероятность заходов в верховья реки Зея.

Волк. Вид с крайне неравномерным территориальным распределением. Волки обычны в долине реки Зея (включая участок верховьев в районе устья р. Сивактыляк 1-й), а также близ западных границ национального парка – у трассы «Улак – Эльга». В высокогорьях и среднегорьях центральной части Токинского Становика, а также на плато Оконон (Токско-Туксанийское плато) волки немногочисленны и встречаются преимущественно в бесснежный период. Они заходят на рассматриваемую территорию по долинам крупных рек и обычно покидают ее до выпадения глубокого снежного покрова. Средняя плотность населения этого вида в южных предгорьях Токинского Становика и на сопредельной территории в 2013-2017 гг. составляла 0.05 ос./1000 га (табл. 9).

Следы волков на прибрежном песке неоднократно видели в долине реки Зея, на участке от устья р. Сивактыляк 1-й до подпора Зейского водохранилища. Помет волка с шерстью барана единично отмечался на хребте водораздела «Зея – Б. Туксани» (2020 г.) и в долине верховьев правого притока ключа Утук-Макит (2021 г.). По сведениям эвенков волки и, возможно, волко-собачьи гибриды часто встречаются вблизи трассы «Улак – Эльга», где активно охотятся на домашних оленей.

Лисица. Немногочисленный вид. Распространена неравномерно. Встречается в долине реки Зея, много реже – в центральной части Токинского Становика, где, вероятно появляется лишь заходами. В июле 2021 г. следы и помет лисицы несколько раз отмечались в субальпийской зоне близ перевала «Тас-Балаган».

Рысь. Малочисленна как на территории национального парка, так и в прилегающих охотничьих угодьях. Средняя плотность населения этого вида на сопредельной территории в 2013-2017 гг. составляла 0.04 ос./1000 га, изменяясь от 0.01 до 0.11 ос./1000 га (табл. 9).

Следы рыси были обнаружены на территории нацпарка в долине р. Ток близ устья р. Улягир (2018 г.). В центральной части Токинского Становика рысь нами не отмечалась, но, по данным опросов оленеводов, возможны редкие, не ежегодные заходы. В 2021 г. следы рыси отмечались в долине реки Зея ниже метеостанции «Локшак» – значительно южнее границ национального парка.

Тигр. Занесен в Красную книгу Амурской области (2009, 2020) как редкий подвид, сохранившийся только на территории России. Занесен в Красную книгу РФ (2021) и Красный список глобально угрожаемых видов МСОП (IUCN Red List, 2023). В последние десятилетия неоднократно отмечались заходы тигра на север Зейского района Амурской области (Колобаев и др., 2005). Следы тигров и самих животных отмечали: в Зейском заповеднике, в устье и в верховьях р. Арги, близ станции и озера Огорон. Есть сообщения о регистрации тигра непосредственно в пределах территории, ныне относящейся к национальному парку (Красная книга Амурской области, 2009). Описана находка эвенками в 1944 г. тигра замерзшего на Становом хребте в районе вершины Зеи (Чугунков, 1958). Возможность редких единичных заходов тигра в пределы национального парка не вызывает сомнений, но постоянное обитание здесь этого крупного хищника исключено из-за высокого снежного покрова и недостаточной плотности населения копытных.

Отряд Парнокопытные

Кабарга. В настоящее время малочисленный, спорадически распространенный вид. В ельниках, соседствующих со скалами, может быть обычна (фото 11), менее интенсивно

использует лиственничники и заросли кедрового стланика, в иных биотопах встречается редко. Характерны значительные колебания численности. В Зейском заповеднике плотность населения кабарги в периоды популяционных пиков и депрессий различаются на порядок (Подольский и др., 2006).



Фото 11. Кабарга – характерный обитатель подгольцовых аянских ельников. В настоящее время плотность населения этого вида на территории национального парка минимальна (фото С.А. Подольского, 07.06.2022 17:22:26). **Photo 11.** Siberian musk deer is a common species in the subalpine Ezo spruce forests, but currently its population density in the national park is minimal (photo by S.A. Podolsky, 07/06/2022, 17:22:26).

Аналогичные явления, вероятно, происходят и на Токинском Становике. В 1990-х – начале 2000 гг. здесь отмечались высокие показатели обилия этого вида. Так, наши учеты по дефекациям в 1993 г. показали, что плотность населения кабарги в ельниках бассейна верховьев р. Аюмкан составляла 4-5 ос./1000 га. Учеты 2000 года в приручьевых ельниках на сопредельной территории Якутии зафиксировали максимальную динамическую плотность населения кабарги – 15-18 ос./1000 га (Чевычелов и др., 2010). В 2013 г. этот показатель на территории Токинского заказника составлял 0.41 ос./1000 га (табл. 9). В 2022 г. результаты учета по дефекациям показали, что средняя плотность населения кабарги – около 0.1 ос./1000 га, что свидетельствует о глубокой депрессии популяции (табл. 8).

Кабарга отмечалась нами на Токинском Становике в нескольких местах: в 1992 г. многочисленные кучки экскрементов отмечались по ельникам р. Тас-Балаган, в 1993 г. в бассейне верховьев р. Аюмкан, в 2009 и 2018 гг. была обычна на скалистых участках каньона р. Ток. В 2021 г. два туалета и одна лежка кабарги были обнаружены под нависающей скалой в долинном ельнике правого истока р. Тас-Балаган. В долинном лесу левого истока этой реки нашли помет росوماхи с шерстью кабарги. В 2022 г. помет кабарги отмечен над обрывом высокого правого берега р. Улягир, примерно в 1 км ниже устья р. Нэлэг в лиственничнике с участием ели (т. 515: 55° 40' 48.9" с.ш., 129° 42' 03.4" в.д.), а также в бассейне верховьев р. Б. Туксани.

По нашим предварительным оценкам, в последние годы численности кабарги в национальном парке не превышала 100-150 особей. Для более точных оценок необходимы

картирование основных местообитаний и специализированные учеты численности этого вида.

Лось. Обычный немногочисленный вид, является объектом традиционной охоты эвенков-оленоводов. Национальный парк находится на размытой границе ареалов двух подвидов лося – относительно мелкого уссурийского (оленерогого) (*A.a. cameloides* Milne-Edwards, 1867; фото 12) и крупного восточно-сибирского (*A.a. pfizenmayeri* Zukowski, 1910) с лопатообразными рогами. Здесь с равной частотой отмечаются особи с признаками, характерными для обоих подвидов. Лось является типичным видом предгорий и низкогорий Токинского Становика. В высокогорьях использует только субальпийскую зону в районе перевалов со звериными переходами. Так, в июле-августе 2020 и 2022 гг. единичные следы лося отмечались в субальпике – на перевале между истоками рек Зeya и Б. Туксани (участок № 4; рис. 3). В зимний период большинство лосей покидают сопки, водосборы и обширные мари предгорий и низкогорий. В то же время зимовки лосей отмечены в долинах рек среднегорий: долина реки Зeya на участке от устья реки Сивактыляк 1-й до устья реки Кара-Урек; верховья рек Аюмкан, Б. Туксани и Тас-Балаган. Учеты по дефекациям показали, что в верховьях долины р. Аюмкан в 1994 г. зимняя плотность населения лосей достигала 3.5 ос./1000 га, в долинных лесах верховьев р. Б. Туксани в 2022 г. этот показатель составил 1.1 ос./1000 га. По данным ЗМУ (табл. 9), средняя плотность населения лосей по северу Зейского района и в южных предгорьях Токинского Становика в 1980-х – начале 1990-х гг. и в 2013-2017 гг. составляла 0.45 ос./1000 га. Исходя из имеющейся совокупности данных, общую численность лосей на территории Токинского-Станового национального парка можно примерно оценить в 120-140 особей.



Фото 12. Крупный самец уссурийского (оленерогого) лося в верховьях Зеи (фото С. Дудова).

Fig 12. Large male moose of Ussuri subspecies in the upper reaches of the Zeya River (photo by S. Dudov).

Дикий северный олень (сокжой). Типичный обитатель речных долин, редколесий и субальпийской зоны (фото 13). В альпийской зоне и горной тайге встречается реже. Вероятно, является наиболее многочисленным видом копытных национального парка. Дикий северный олень относится к важнейшим объектам традиционной охоты эвенкийских родовых общин. Для диких северных оленей Токинский Становик представляет собой основные летние местообитания.



Фото 13. Сокжой – самец дикого северного оленя на перевале между истоками рек Зея и Б. Туксани (фото О. Агни). **Photo 13.** Male reindeer on a pass between the sources of the Zeya and B. Tuksani Rivers (photo by O. Agni).

В западной части национального парка основная масса сокжоев весной движется из Якутии через Токинскую впадину на юг, а затем по Токинскому Становику – на запад. Осенью миграция идет в обратном направлении. Общая численность «западной» группировки оценивается примерно в 1000 особей (Чевычелов и др., 2010).

По данным маршрутных учетов 2020-2022 гг., во второй половине лета средняя плотность населения северного оленя в центральной части Токинского Становика составляла в долинных лесах – 1.0 ос./1000 га, в открытых долинных биотопах – 4.8 ос./1000 га, в зарослях кедрового стланика – 2.2 ос./1000 га, на субальпийских лугах – 4.1 ос./1000 га, в альпийской зоне – 0.13 ос./1000 га (табл. 7).

Судя по нашим наблюдениям 1994, 2009 и 2018 гг., показатели численности сокжоев как в западной, так и в восточной частях Токинского Становика были заметно выше, чем в центральной. В западной части национального парка популяционная группировка диких северных оленей постоянно пополняется за счет отколов от домашних стад, в восточной части (район г. Аюмкан) сокжой активно используют не только субальпийскую зону и долины рек, но также альпийскую зону. Здесь в 1994 г плотность населения диких северных оленей на альпийских лугах и в горных тундрах достигала 5-6 ос./1000 га. Учитывая эти факты, общую численность сокжоев на территории национального парка

можно предварительно оценить в 400-500 особей. При дальнейшем детальном обследовании всей особо охраняемой территории эта оценка может быть уточнена.

По данным опросов (устные сообщения Д. Колесова, П. Сафронова), зимой и в начале весны периодически отмечаются концентрации диких северных оленей в районе истоков р. Сивакан – южнее и юго-западнее границы парка. В перспективе этот участок целесообразно включить в охранную зону ООПТ.

Снежный баран (толсторог). Характерный обитатель высокогорий Станового хребта. Распространенный на Токинском Становике подвид – баран Аллена (*Ovis nivicola alleni* Matchie, 1907), занесён в Красные книги Амурской области (2009, 2020) и Республики Саха (2003, 2019). В национальном парке толстороги заселяют относительно узкую полосу высокогорий шириной от 5 до 15 км, протянувшуюся вдоль северной границы Амурской области от истоков р. Ононон на западе до верховьев р. Аюмкан на востоке (Подольский и др., 2019). Учеты численности снежных баранов проводились нами в 1992, 1993, 2009, 2018, 2020-2022 гг. (табл. 5).

Пространственное распределение снежных баранов на обследованной территории крайне неравномерно. Плотность населения в оптимальных биотопах центральной части Токинского Становика (в среднем – 9.4 ос./1000 га) значительно выше отмеченной на западной (1.3 ос./1000 га) и восточной (2.5 ос./1000 га) периферии горной страны (табл. 5). Это связано с тем, что на Токинском Становике они отдают предпочтение территориям с максимальной расчленённостью рельефа, наибольшими высотами и обилием скальных участков, а также участкам с крупными природными солонцами на выходах вулканических отложений (фото 14). Зона повышенной плотности населения на западе начинается от истоков рек Б. Ононон и Оюр. На востоке она захватывает бассейн истоков реки Зея вплоть до устья реки Тас-Балаган, а также горный массив «Голоц Тас-Балаган» с прилегающим участком правобережной части бассейна реки Луча (Зейская).



Фото 14. Самка снежного барана на уступе, у природного солонца (фото С.А. Подольского).

Photo 14. Female Siberian bighorn sheep on a rocky ledge near the natural salt lick (photo by S.A. Podolskiy).

Для популяционной группировки толсторогов Токинского Становика также характерны резкие сезонные изменения зон с различной плотностью населения. Весной и в начале лета снежные бараны концентрируются у крупных природных солонцов, где плотность населения почти на порядок выше фоновой (Дарман, Титова, 2022). Во второй половине лета толстороги относительно равномерно распределяются по территории в пределах основных местообитаний, хотя плотность населения у солонцов остается примерно в два раза выше фоновой (табл. 10). Примечательно, что в июле часть толсторогов уходит от основных солонцов не менее чем на 15-20 км, что можно рассматривать как сезонные миграции или протяженные горизонтальные кочевки.

Таблица 10. Показатели численности снежных баранов центральной части Токинского Становика на учетных площадках вблизи основного природного солонца «Зея-Б.Туксани» и на удалении от него в 2018, 2020-2022 гг. **Table 10.** Numbers of Siberian bighorn sheep population in the central part of Tokinsky Stanovik at the census sites near the main natural salt lick “Zeya – B.Tuksani” and away from it, collected for 2018 and 2020-2022.

Положение по отношению к солонцу	Районы наблюдений	Год	Кол-во особей, экз.	ос./10 км ²
Первая половина лета (июнь – первая половина июля)				
Площадки, удаленные от солонца	Правобережья истоков Б. Туксани; район перевала «Б. Туксани – Сивактыляк 1-й»; район перевала «Гас-Балаган»	2021	41	2.0
Площадки, соседствующие с солонцом	Левые истоки Б. Туксани; правый исток реки Зея; левый исток реки Сивактыляк 1-й	2021	292	109.3
Вторая половина лета (вторая половина июля – август)				
Площадки, удаленные от солонца	Правый исток р. Оюр; исток реки Оюр-Макит; район перевала «Б. Туксани – Сивактыляк 1-й»	2018	27	10.4
	Правобережья истоков реки Б. Туксани; район перевала «Б. Туксани – Сивактыляк 1-й»	2020	10	2.4
	Район перевала «Гас-Балаган»	2021	48	9.3
	Правобережья истоков реки Б. Туксани; район перевала «Б. Туксани – Сивактыляк 1-й»; Правый исток р. Оюр; исток р. Оюр-Макит	2022	22	4.2
	<i>Средний (по годам наблюдений) показатель плотности населения по площадкам удаленным от солонца</i>			6.6
Площадки, соседствующие с солонцом	Левые истоки реки Б. Туксани; правый исток реки Зея; левый исток реки Сивактыляк 1-й	2020	48	11.3
	Левые истоки реки Б. Туксани; правый исток реки Зея; левый исток реки Сивактыляк 1-й	2022	72	20.4
	<i>Средний (по годам наблюдений) показатель плотности населения по площадкам, соседствующим с солонцом</i>			15.8

Для оценки численности толсторогов в Токинско-Становом национальном парке мы

использовали данные, полученные во второй половине лета, когда животные наиболее равномерно распределены по территории. При этом мы учитывали различия плотности населения в центральной части горной страны и на ее периферии. Кроме того, для центральной части отдельно оценивалась численность вблизи крупных природных солонцов и на удалении от них.

Площадь основных высокогорных (открытых) местообитаний снежных баранов (альпийская и субальпийская зоны с гольцами и скалами, верхняя разреженная часть пояса кедрового стланика) на территории Токинско-Станового национального парка составляет около 60 тыс. га, площадь второстепенных местообитаний – около 35 тыс. га (густые заросли кедрового стланика на склонах хребтов, используемых толсторогами). Зона повышенной плотности населения толсторогов в центре горной страны (от истоков рек Б. Оконон и Оюр на западе до гольца «Тас-Балаган» и низовьев реки Луча на востоке) в пределах парка имеет площадь около 12.5 тыс. га, из которых около 600 га относятся к зоне концентрации толсторогов вблизи солонцов (табл. 10). Показатели обилия снежных баранов в основных биотопах центральной части южного макросклона Токинского Становика во второй половине лета можно оценить следующим образом: на площади 11900 га плотность населения – 6.6 ос./1000 га, количество – около 80 особей; на площади 600 га плотность населения – 15.8 ос./1000 га, количество – около 10 особей. Если использовать для этого участка средние показатели (табл. 5), то оценки обилия составят 90 особей. Если несколько выше, то на площади 12.5 тыс. га плотность составила 9.4 ос./1000 га, а количество – 118 особей. Значит, численность снежных баранов в оптимальных биотопах центральной части горной страны, относящейся к национальному парку, можно оценить в 90-120 особей.

Для оценки численности толсторогов на оставшейся части основных местообитаний национального парка (47.5 тыс. га) был использован показатель плотности населения, полученный в районе г. Аюмкан – 2.5 ос./1000 га (табл. 5). По расчетам, на восточном и западном участках высокогорий данной ООПТ может обитать около 120 снежных баранов. Кроме того, толстороги в небольшом количестве встречаются в зарослях кедрового стланика на склонах активно используемых ими горных хребтов. По данным маршрутных учетов, плотность населения снежных баранов в этих второстепенных местообитаниях (35 тыс. га) не превышает 0.5 ос./1000 га, а численность – 15-20 особей.

Таким образом, общую численность толсторогов на территории Токинско-Станового национального парка можно примерно оценить в 230-260 особей. Данная оценка может быть уточнена при более детальном изучении высокогорий восточной части ООПТ.

Данные о половозрастной структуре популяционной группировки толсторогов национального парка представлены в таблице 6. Характерно, что в 2020 году были отмечены минимальные показатели встречаемости взрослых самцов и невысокая доля молодняка. В 2021 и 2022 гг. встречаемость взрослых самцов вернулась к обычному уровню, но доля молодняка в популяции пока остается крайне нестабильной. Существенные колебания половозрастного состава могут быть связаны с последствиями трофейной охоты, проводившейся в последние годы перед учреждением национального парка. В 2020 году мы обнаружили три места, где ранее многократно устраивались лагеря трофейных охотников: два в районе водораздела рек Зeya и Б. Туксани, один на перевале над средним истоком р. Сивактыляк 1-й. По данным опросов вертолетчиков, сотрудников аэродромных служб и оленеводов, в течение 3-4 лет перед созданием национального парка (2016-2019 гг.) в центральной части Токинского Становика велся интенсивный отстрел взрослых самцов снежных баранов несколькими командами трофейных охотников. Их заброска и выброска производилась с помощью вертолетов. По сообщениям пилотов, зачастую с борта вертолета велся и отстрел животных.

С 2020 года в бесснежный период в зоне повышенной численности толсторогов

у важнейших природных солонцов организовано дежурство сотрудников Зейского заповедника, а значительная часть высокогорий стала охраняться с помощью патрулирования. По имеющейся у нас информации, в 2020-2022 гг. трофейная охота в районе перевалов «Зея – Б. Туксани», «Б. Туксани – Сивактыляк 1-й» и «Тас-Балаган» не велась, что способствовало началу нормализации половозрастной структуры на территории.

Помимо браконьеров снежным баранам угрожают крупные хищники. Весной на новорожденных ягнят активно охотятся медведи (устные сообщения Н.И. Абоимова и П. Сафронова). Среди собранных в начале июля 2021 г. экскрементов медведей ($n = 9$) шерсть снежного барана отмечена в 2 случаях (22.2%). Наблюдения за 3 медведями также показали, что они активно обследуют тропы баранов в высокогорье и пытаются охотиться на солонце. В бесснежный период толстороги иногда становятся добычей волков и росомах. Волчий помет с шерстью барана был обнаружен нами на гребне хребта в районе перевала «Зея – Б. Туксани». На сеголетков может охотиться беркут, неоднократно отмечавшийся в высокогорьях. В районе перевала «Тас-Балаган» обнаружены останки взрослого самца и самки, вероятно, погибших в лавине.

Выводы

В Токинско-Становом национальном парке и на сопредельной территории создана система зоологического мониторинга, основу которой составляют 15 участков учета относительной численности мелких млекопитающих (рис. 2), а также 5 участков наблюдений за снежными баранами и другими крупными зверями (рис. 3). Все наблюдения имеют четкую биотопическую привязку в соответствии с разработанным перечнем основных типов местообитаний (табл. 1). За несколько лет наблюдений (1992, 1993, 2009, 2018, 2020-2022 гг.) удалось провести основной объем работ по инвентаризации териофауны, получить представление о показателях численности, биотопическом, пространственном и сезонном распределении большинства видов зверей; наметить важнейшие направления по организации охраны животного населения и оптимизации мониторинга.

Непосредственно на территории национального парка нашими наблюдениями удалось подтвердить обитание 27 видов зверей: средняя бурозубка, крупнозубая бурозубка, равнозубая бурозубка, крошечная бурозубка, восточная ночница, заяц-беляк, северная пищуха, летяга, обыкновенная белка, азиатский бурундук, восточноазиатская мышь, лемминговидная полевка, красная полевка, красно-серая полевка, лесной лемминг, полевка Громова (шантарская), волк, лисица, бурый медведь, росомаха, соболь, горноста́й, рысь, кабарга, лось, дикий северный олень (сокжой), снежный баран. Камчатский (черношапочный) су́рок и американская норка отмечались нами в непосредственной близости от границ ООПТ; их обнаружение в национальном парке весьма вероятно. По литературным и/или опросным данным, в относительной близости от границ парка могут также обитать полевка-экономка, амурский лемминг, ласка, колонок, выдра. Нельзя исключать возможность обнаружения этих видов в пределах ООПТ. Кроме того, в Красной книге Амурской области (2009) приводится информация о регистрации тигра на территории, в настоящий момент относящейся к национальному парку. Постоянное обитание здесь этого вида исключено, но возможность редких заходов не вызывает сомнений.

Таким образом, по имеющейся информации, териофауна Токинско-Станового национального парка включает от 27 до 35 видов из 6 отрядов и 14 семейств (табл. 2). При дальнейшем изучении список может быть расширен главным образом за счет рукокрылых и насекомоядных, а также за счет видов, ранее регистрировавшихся близ границ парка.

Установлены оптимальные сроки проведения основных зоологических наблюдений в бесснежный период: с середины июля по август включительно. В это время необходимо

ежегодно проводить учет снежных баранов, относительно равномерно распределенных по открытым участкам высокогорий, и учеты мелких млекопитающих, активно наращивающих численность во второй половине периода размножения. Наблюдения за посещением баранами основных природных солонцов желателно проводить один раз в 2-3 года в июне. Имеющуюся сеть линий и площадок по учету млекопитающих желателно расширить на восток – в пределы бассейнов рек Луча (Зейская) и Аюмкан.

Результаты наблюдений показали, что меры по охране территории национального парка уже дают ощутимые результаты: в центральной части Токинского Становика прекратилась интенсивная незаконная охота, началась нормализация половозрастной структуры популяции снежных баранов. Для повышения надежности обеспечения режима ООПТ необходимо создать охранную зону по ее периметру. Кроме того, целесообразно организовать дежурство на южной границе парка – в долине реки Зeya, близ устья реки Хаюм-Урэк, а также распространить экспедиционное патрулирование на восточную часть ООПТ.

Благодарности. Авторы благодарят администрацию Зейского государственного заповедника за неоценимую помощь в организации экспедиционных исследований и транспортного обеспечения.

Финансирование. Исследования выполнены в рамках темы № FMWZ-2022-0002 Государственного задания Института водных проблем 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», а также в рамках Государственного задания ФГБУ «Зейский государственный природный заповедник» № 051-00007-22-00 «Динамика явлений и процессов в экосистемах Зейского заповедника и национального парка «Токинско-Становой».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

- | | |
|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Борисова И.Г., Ступникова Т.В., Павлова К.П., Дудов С.В., Подольский С.А. 2020. Заказник «Токинский»: физико-географический очерк //Биота и среда заповедников Дальнего Востока. № 2. С. 103-120. 2. Ботвинкин А.Д. 2002. Летучие мыши в Прибайкалье (биология, методы наблюдения, охрана). Иркутск: Время странствий. 208 с. 3. Воронов А.Г. 1963. Биogeография. М.: Изд-во МГУ. 338 с. 4. Готванский В.И., Подольский С.А. 2000. Край эдельвейсов и толсторогов //Природа. № 4. С. 37-45. 5. Дарман Ю.А. 1994. Млекопитающие //Современное состояние животного мира. Состояние природной среды зоны | <ol style="list-style-type: none"> 1. Borisova IG, Stupnikova TV, Pavlova KP, Dudov SV, Podolsky SA. The Tokinsky Reserve: a physical and geographical essay [<i>Zakaznik "Tokinsky": fiziko-geograficheskiy ocherk</i>] <i>Biota and environment of the reserves of the Far East [Biota i sreda zapovednikov Dal'nego Vostoka]</i>. 2020;2:103-120. 2. Botvinkin AD. Bats in the Baikal region (biology, methods of observation, protection) [<i>Letuchiye myshi v Pribaykal'ye (biologiya, metody nablyudeniya, okhrana)</i>]. Irkutsk: Vremya stranstviy, 2002:208. 3. Voronov AG. Biogeography [<i>Biogeografiya</i>]. Moscow: Izd-vo MGU, 1963:338. 4. Gotvansky VI, Podolsky SA. Land of edelweiss and bighorns [<i>Kray edel'veysov i tolstorogov</i>] <i>Nature</i>. 2000;4:37-45. 5. Darman YuA. Mammals [<i>Mlekovpitayushchiye</i>] <i>Current state of the animal world. The state of the natural environment of the possible zone of influence of the hydroelectric facilities cascade on the Bureya river, and the forecast of its changes [Sovremennoye</i> |
|--|---|

- возможного влияния каскада гидроузлов на р. Бурее и прогноз ее изменений. Раздел 5. Наземная экосистема (промежуточный отчет). Благовещенск: Амур НЦ ДВО РАН. С. 76-89.
6. Дарман Ю.А. 1995. Развитие сети природоохранных территорий //Заповедное дело в новых социально-экономических условиях. Тезисы докладов международного совещания. Санкт-Петербург, 24-27 апреля 1995 г. СПб.: Изд-во РАН. С. 47-51.
 7. Дарман Ю.А., Титова С.И. 2022. Популяционные характеристики Туксани-Сивактылякской группировки снежного барана (*Ovis nivicola*) //Актуальные проблемы зоогеографии и биоразнообразия Дальнего Востока России: Материалы Всероссийского симпозиума, посвященного 150-летию со дня рождения В.К. Арсеньева, Хабаровск, 29-31 марта 2022 г. /Ред. В.В. Рожнов. Хабаровск: БФ «Биосфера». С. 72-77.
 8. Докучаев Н.Е., Шереметьева И.Н. 2017. Об идентичности серых полёвок (Cricetidae, Rodentia) острова Большой Шантар (Охотское море) и полёвки Громова (*Alexandromys gromovi* Vorontsov et al. 1988) //Зоологический журнал. № 96 (11). С. 1425-1430.
 9. Дорогостайский В.Ч. 1915. Предварительный отчет о поездке в Яблоновый хребет, совершенной по поручению Императорской Академии Наук в 1914 г. //Известия Императорской Академии Наук. VI серия. № 15. С. 401-420.
 10. Железнов-Чукотский Н.К. 1994. Экология снежных баранов Северной Азии. М.: Наука. 256 с.
 6. Darman YuA. Development of a network of protected natural areas [Razvitiye seti prirodookhrannykh territoriy] Nature reserve management under new socio-economic conditions [Zapovednoye delo v novykh sotsial'no-ekonomicheskikh usloviyakh] Abstracts of reports of the international meeting, Saint-Petersburg, April 24-27, 1995 [Tezisy dokladov mezhdunarodnogo soveshchaniya]. Saint-Petersburg: Izd-vo RAN, 1995:47-51.
 7. Darman YuA, Titova SI. Population characteristics of the Tuksani-Sivaktylyak group of Siberina bighorn sheep (*Ovis nivicola*) [Populyatsionnyye kharakteristiki Tuksani-Sivaktylyakskoy gruppirovki snezhnogo barana (*Ovis nivicola*)] Actual problems of zoogeography and biodiversity of the Russian Far East [Aktual'nyye problemy zoogeografii i bioraznoobraziya Dal'nego Vostoka Rossii] Proc. of the All-Russian Symposium dedicated to the 150th anniversary of the birth of V.K. Arsenyeva, Khabarovsk, March 29-31, 2022 [Materialy Vserossiyskogo simpoziuma, posvyashchennogo 150-letiyu so dnya rozhdeniya V.K. Arsen'yeva] /ed. V.V. Rozhnov. Khabarovsk: BF "Biosfera", 2022:72-77.
 8. Dokuchaev NE, Sheremetyeva IN. Identity of meadow voles (Cricetidae, Rodentia) from Bolshoi Shantar Island (Sea of Okhotsk) and Gromov's vole (*Alexandromys gromovi* Vorontsov et al., 1988) [Ob identichnosti serykh polovok (Cricetidae, Rodentia) ostrova Bol'shoy Shantar (Okhotskoye more) i polovki Gromova (*Alexandromys gromovi* Vorontsov et al., 1988)] *Zoological Journal*. 2017;96 (11):1425-1430.
 9. Dorogostaisky VCh. Preliminary report on the trip to Yablonovy Ridge for the Imperial Academy of Sciences that took place in 1914 [Predvaritel'nyy otchet o poyezdke v Yablonovyy khrebet, sovershennoy po porucheniyu Imperatorskoy Akademii Nauk v 1914 g.] *News of the Imperial Academy of Sciences* [Izvestiya Imperatorskoy Akademii Nauk]. VI series [VI seriya].

11. *Игнатенко Е.В., Павлова К.П.* 2012. Использование почвенных ловушек Барбера для учета педобионтов и насекомоядных //Материалы Международной научно-практической конференции «Охрана и научные исследования на особо охраняемых природных территориях Дальнего Востока и Сибири», посвященная 25-летию организации Буреинского заповедника. Хабаровск. С. 49-51.
12. *Карасева Е.В., Телицына А.Ю., Жигальский О.А.* 2008. Методы изучения грызунов в полевых условиях. М.: Изд-во ЛКИ. 416 с.
13. *Колобаев Н.Н., Красикова Е.К., Николаев И.Г., Козлов С.Г.* 2005. Амурский тигр в Амурской области //Бюллетень МОИП. Отдел биологический. Т. 110. Вып. 6. С. 3-11.
14. Красная книга Амурской области. 2009. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных, растений и грибов. Благовещенск: Изд-во БГПУ. С. 159-160.
15. Красная книга Амурской области. 2020. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных, растений и грибов. 2-е изд. испр., перераб. и доп. Благовещенск: Изд-во Дальневосточного государственного аграрного университета. С. 186-187.
16. Красная книга Республики Саха (Якутия). 2003. Т. 2: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных (насекомые, рыбы, земноводные, пресмыкающиеся, птицы, млекопитающие). Якутск: ГУП НИПК «Сахаполиграфиздат». 208 с.
17. Красная книга Республики Саха (Якутия). 2019. Т. 2: Редкие и
10. Zheleznov-Chukotsky NK. Ecology of Siberian bighorn sheep in North Asia [*Ekologiya snezhnykh baranov Severnoy Azii*]. Moscow: Nauka, 1994:256.
11. Ignatenko EV, Pavlova KP. Pitfall traps to help with accounting the ground animals and insectivores [*Ispol'zovaniye pochvennykh lovshek Barbera dlya ucheta pedobiontov i nasekomoyadnykh*] *Proc. of the International Scientific and Practical Conference "Protection and Scientific Research in Specially Protected Natural Territories of the Far East and Siberia", dedicated to the 25th anniversary of the Bureinsky Reserve* [*Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Okhrana i nauchnyye issledovaniya na osobo okhranyayemykh prirodnnykh territoriyakh Dal'nego Vostoka i Sibiri", posvyashchennaya 25-letiyu organizatsii Bureinskogo zapovednika*]. Khabarovsk, 2012:49-51.
12. Karaseva EV, Telitsyna AYU, Zhigalsky OA. Methods for field studies of rodents [*Metody izucheniya gryzunov v polevykh usloviyakh*]. Moscow: Izd-vo LKI, 2008:416.
13. Kolobaev NN, Krasikova EK, Nikolaev IG, Kozlov SG. Amur tiger in the Amur region [*Amurskiy tigr v Amurskoy oblasti*] *Bulletin of the Moscow Society of Naturalists* [*Byulleten' MOIP*] Department of biology [*Otdel biologicheskii*]. 2005;110 (6):3-11.
14. Red Data Book of the Amur Region [*Krasnaya kniga Amurskoy oblasti*] *Rare and endangered species of animals, plants and fungi* [*Redkiye i nakhodyashchiyesya pod ugrozoy ischeznoveniya vidy zhivotnykh, rasteniy i gribov*]. Blagoveshchensk: Izd-vo BGPU, 2009:159-160.
15. Red Data Book of the Amur Region [*Krasnaya kniga Amurskoy oblasti*] *Rare and endangered species of animals, plants and fungi* [*Redkiye i nakhodyashchiyesya pod ugrozoy ischeznoveniya vidy zhivotnykh, rasteniy i gribov*]. 2nd ed., corrected, revised and suppl. Blagoveshchensk: Izd-vo Dal'nevostochnogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2020:186-187.
16. Red Data Book of the Republic of Sakha (Yakutia) [*Krasnaya kniga Respubliki Sakha (Yakutiya)*] *Rare and endangered animal species (insects, fish, amphibians, reptiles, birds, mammals)* [*Redkiye i nakhodyashchiyesya pod ugrozoy ischeznoveniya vidy zhivotnykh (nasekomye, ryby, zemnovodnyye, presmykayushchiyesya, ptitsy, mlekopitayushchiye)*]. Yakutsk: GUP NIPK "Sakhapoligrafizdat", 1915;15:401-420.

- находящиеся под угрозой исчезновения виды животных //Ред. Н.Н. Винокуров. М.: Наука. 270 с.
18. Красная книга России: правовые акты. 2000. М. 134 с.
 19. Красная книга Российской федерации. Т. Животные. 2021. 2-е изд. М.: ВНИИИ Экология. 1128 с.
 20. Крусков С.В. 2021. Методы изучения рукокрылых //Рукокрылые Дальнего Востока России и их эктопаразиты. М.: Перо. С. 24-55.
 21. Куренцов А.И. 1965. Зоогеография Приамурья. М-Л.: Наука. 155 с.
 22. Лисовский А.А., Шефтель Б.И., Савельев А.П., Ермаков О.А., Козлов Ю.А., Смирнов Д.Г., Стахеев В.В., Глазов Д.М. 2019. Млекопитающие России: список видов и прикладные аспекты. Сборник трудов зоологического музея МГУ. Т. 56. М.: Товарищество научных изданий КМК. 191 с.
 23. Наземные млекопитающие Дальнего Востока СССР. 1984. Определитель. М.: Наука. 356 с.
 24. Подольский С.А., Красикова Е.К., Червова В.А., Кастрикин В.А. 2006. Кабарга в зоне влияния Зейского водохранилища: естественные климатические и антропогенные факторы динамики численности и пространственного распределения //Биогеография. Вып. 13. С. 74-87.
 25. Подольский С.А., Игнатенко С.Ю., Красикова Е.К. 2020. Национальный парк «Токинско-Становой»: история и проблемы создания //Биота и среда заповедников Дальнего Востока. № 2. С. 121-139.
 26. Подольский С.А., Доманов Т.А., Кастрикин В.А. 2019. Первые результаты исследований и перспективы охраны снежных 2003;2:208.
 17. Red Data Book of the Republic of Sakha (Yakutia) [*Krasnaya kniga Respubliki Sakha (Yakutiya)*] Rare and endangered animal species [*Redkiye i nakhodyashchiyesya pod ugrozoy ischeznoveniya vidy zhivotnykh*] /ed. N.N. Vinokurov. Moscow: Nauka, 2019;2:270.
 18. Red Data Book of Russia: legal acts [*Krasnaya kniga Rossii: pravovyye akty*]. Moscow. 2000:134.
 19. Red Data Book of the Russian Federation [*Krasnaya kniga Rossiyskoy federatsii*] Animals [*Zhivotnyye*]. 2nd ed. Moscow: VNIIE Ekologiya, 2021:1128.
 20. Kruskov SV. Methods for studying bats [*Metody izucheniya rukokrylykh*] Bats of the Russian Far East and their ectoparasites [*Rukokrylyye Dal'nego Vostoka Rossii i ikh ektoparazity*]. Moscow: Pero, 2021:24-55.
 21. Kurentsov AI. Zoogeography of the Amur Region [*Zoogeografiya Priamur'ya*]. Moscow-Leningrad: Nauka, 1965:155.
 22. Lisovsky AA, Sheftel BI, Saveliev AP, Ermakov OA, Kozlov YuA, Smirnov DG, Stakheev VV, Glazov DM. Mammals of Russia: list of species and additional aspects [*Mlekovitayushchiye Rossii: spisok vidov i prikladnyye aspekty*] Collection of works of the Zoological Museum of Moscow State University [*Sbornik trudov zoologicheskogo muzeya MGU*]. Moscow: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2019;56:191.
 23. Terrestrial mammals of the Far East of the USSR [*Nazemnyye mlekovitayushchiye Dal'nego Vostoka SSSR*] Identification guide [*Opredelitel'*]. Moscow: Nauka, 1984:356.
 24. Podolsky SA, Krasikova EK, Chervova VA, Kastrikin VA. Siberian musk deer in the influence zone of the Zeya reservoir: natural climatic and anthropogenic factors of population dynamics and spatial distribution [*Kabarga v zone vliyaniya Zeyskogo vodokhranilishcha: yestestvennyye klimaticheskkiye i antropogennyye faktory dinamiki chislennosti i prostranstvennogo raspredeleniya*]. *Biogeography*. 2006;13:74-87.
 25. Podolsky SA, Ignatenko SYu, Krasikova EK. Tokinsko-Stanovoy National Park: history and issues of its creation [*Natsional'nyy park "Tokinsko-Stanovoy": istoriya i problemy sozdaniya*]. *Biota and Environment of the Natural Reserves of the Far East* [*Biota i sreda zapovednikov Dal'nego*

- баранов *Ovis nivikola alleni* Matschie, 1907 в Амурской области //Амурский зоологический журнал. Т. XI. № 2. С. 173-184.
27. Ревин Ю.А. 1989. Млекопитающие Южной Якутии. Новосибирск: Наука. 321 с.
28. Ревин Ю.А., Попов А.Л. 1988. Новые данные о видовом разнообразии и распространении млекопитающих в Южной Якутии //Зоогеографические и экологические исследования териофауны Якутии. С. 24-38.
29. Сорочкина Л.И. 1977. Учет копытных //Охота и охотничье хозяйство. № 2. С. 38-39.
30. Чевычелов А.П., Кузнецова Л.В., Исаев А.П. и др. 2010. Биоразнообразие ландшафтов Токинской котловины и хребта Токинский Становик /Ред. Б.И. Иванов. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 284 с.
31. Чугунков Д. 1958. Тигры в верховьях Зеи //Амурская правда. 19 апреля. Благовещенск. С. 2.
32. IUCN Red List. 2023 [Электронный ресурс <https://www.iucnredlist.org/>(дата обращения 06.01.2023)].
26. Podolsky SA, Domanov TA, Kastrikin VA. First results of research and protection prospects of Siberian bighorn sheep *Ovis nivikola alleni* Matschie, 1907 in the Amur Region [Pervyye rezul'taty issledovaniy i perspektivy okhrany snezhnykh baranov *Ovis nivikola alleni* Matschie, 1907 v Amurskoy oblasti]. *Amur Zoological Journal*. 2019;XI (2):173-184.
27. Revin YuA. Mammals of South Yakutia [*Mlekovitayushchiye Yuzhnoy Yakutii*]. Novosibirsk: Nauka, 1989:321.
28. Revin YuA, Popov AL. New data on the species diversity and mammals distribution in South Yakutia [*Novyye dannyye o vidovom raznoobrazii i rasprostraneni mlekopitayushchikh v Yuzhnoy Yakutii*] *Zoogeographic and ecological studies of Yakutian theriofauna* [*Zoogeograficheskiye i ekologicheskkiye issledovaniya teriofauny Yakutii*]. 1988:24-38.
29. Sorokina LI. Census of ungulates [Uchet kopytnykh]. *Hunting and Game Husbandry* [*Okhota i okhotnich'ye khozyaystvo*]. 1977;2:38-39.
30. Chevychelov AP, Kuznetsova LV, Isaev AP et al. Biodiversity of the landscapes of the Tokinsky Basin and the Tokinsky Stanovik Ridge [*Bioraznoobraziye landshaftov Tokinskoy kotloviny i khrebta Tokinsky Stanovik*] /ed. B.I. Ivanov. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2010:284.
31. Chugunkov D. Tigers in the upper reaches of the Zeya River [Tigry v verkhov'yakh Zei]. *Amur Truth* [*Amurskaya pravda*]. Blagoveshchensk, 1958;19 April:2.
32. IUCN Red List. 2023, Available at <https://www.iucnredlist.org/>(Date of Access 06/01/2023).

UDC 599; 502,743; 502,45

MAMMALS OF THE TOKINSKO-STANOVOY NATIONAL PARK

© 2023. S.A. Podolskiy^{* **}, Yu.A. Darman^{***}, A.A. Kadetova^{****}, V.A. Kastrikin^{*****},
K.P. Pavlova^{**}, T.A. Domanov^{**}

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

***Zeya State Nature Reserve
Russia, 676246, Amur Region, Zeya, Stroitel'naya Str., 71. E-mail: zzap@mail.ru*

****Amur Branch of Russian World Wide Fund for Nature
Russia, 690003, Vladivostok, Verkhneportovaya Str., 18a. E-mail: ydarman@wwf.ru*

*****Moscow Zoo
Russia, 123242, Moscow, B. Gruzinskaya Str., 1. E-mail: asfedlynxx@mail.ru*

******Khingan State Nature Reserve
Russia, 676740, Amur Region, Arkhara, Dorozhny Per., 6. E-mail: office@khingan.ru*

Received January 18, 2023. Revised February 6, 2023. Accepted March 1, 2023.

The Tokinsko-Stanovoy National Park was established at the end of 2019 with its area of about 253 thousand hectares. It is located in the north of the Amur Region, namely, on its border with the Republic of Sakha and the Khabarovsk Krai. The first zoological survey of this territory was carried out by V.Ch. Dorogostaisky's expedition in 1914. In this article we provide basic information about the fauna and population of mammals, obtained over 7 summer-autumn seasons of 1992, 1993, 2009, 2018 and 2020-2022. Expeditions that took place in 2009, 2018 and 2020-2022 were organized and conducted by the Zeya State Nature Reserve, with the help of ecologists from the Water Problems Institute, Khingan State Nature Reserve, Amur Branch of Russian World Wide Fund for Nature, Moscow Zoo and M.V. Lomonosov Moscow State University.

In the vast territory of the park we have registered 27 species of mammals: Laxmann's shrew, Siberian large-toothed shrew, even-toothed shrew, Eurasian least shrew, eastern water bat, mountain hare, northern pika, Siberian flying squirrel, red squirrel, Siberian chipmunk, Korean field mouse, lemming vole, northern red-backed vole, grey red-backed vole, wood lemming, Gromov's vole, wolf, fox, brown bear, wolverine, sable, stoat, lynx, Siberian musk deer, moose, reindeer, Siberian bighorn sheep. Black-capped marmot and American mink were encountered near the boundaries of the specially protected natural areas, meaning that they are very likely to be found in the park as well. According to the literature sources and/or surveys, the following animals were noticed near the park boundaries: tundra vole, Amur lemming, common weasel, Siberian weasel, otter; it is also possible that the Siberian tiger visits the territory rarely. In total, the theriofauna of the Tokinsko-Stanovoy National Park includes 27-35 species from 6 orders and 14 families. This list can be expanded with *Chiroptera* and *Eulipotyphla* after further studies.

A system for zoological monitoring was created in the park and the adjacent territory, including 15 sites for recording the relative abundance of small mammals, and 5 sites for observing Siberian bighorn sheep and other large animals. This system helped to carry out a census of the local theriofauna and find out the abundance, as well as the biotopic, spatial and seasonal distributions of many mammal species. During the studies, the work of specially protected natural areas was assessed for the first time, and the most important directions for improved protection of the animal population and monitoring optimization were outlined. It was also proved that protective measures in the park area have already brought significant results. For example, the intensive and illegal hunting for bighorn sheep was banned in the central part of Toko-Stanovik, and the sex and age structure of the bighorn group began to stabilize. In order to increase the reliability of the regime of specially protected natural areas and to continue the studies of the animal population, it is necessary to create a

buffer zone along the territory perimeter and expand the patrols and observations to the eastern part of the national park.

Keywords: Toko-Stanovik Range, Tokinsko-Stanovoy National Park, mammals, fauna, animal population, animal number, population density, zoological monitoring, nature protection.

Acknowledgment. We thank the management of the Zeya State Nature Reserve for the valuable help in organizing the expeditions and transportation.

Funding. This research was carried out as part of the State Assignment No. FMWZ-2022-0002 for the Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences “Research of Geocological Processes in Hydrological Land Systems, Formation of the Surface and Ground Water Quality, Problems of Water Resources Management and Water Use under Conditions of Climate Change and Anthropogenic Impact”, as well as part of the State Assignment No. 051-00007-22-00 for Zeya State Nature Reserve “Dynamics of Phenomena and Processes in the Ecosystems of the Zeya Reserve and the Tokinsko-Stanovoy National Park”.

DOI: 10.24412/2542-2006-2023-1-115-161

EDN: HWWVHC

==== DISTRIBUTION AND PROTECTION OF ECOSYSTEMS AND THEIR COMPONENTS ====

UDC 599; 502,743; 502,45

MAMMALS OF THE TOKINSKO-STANOVOY NATIONAL PARK

© 2023. S.A. Podolskiy^{* **}, Yu.A. Darman^{***}, A.A. Kadetova^{****}, V.A. Kastrikin^{*****},
K.P. Pavlova^{**}, T.A. Domanov^{**}

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

***Zeya State Nature Reserve
Russia, 676246, Amur Region, Zeya, Stroitel'naya Str., 71. E-mail: zzap@mail.ru*

****Amur Branch of Russian World Wide Fund for Nature
Russia, 690003, Vladivostok, Verkhneportovaya Str., 18a. E-mail: ydarman@wwf.ru*

*****Moscow Zoo
Russia, 123242, Moscow, B. Gruzinskaya Str., 1. E-mail: asfedlynxx@mail.ru*

******Khingan State Nature Reserve
Russia, 676740, Amur Region, Arkhara, Dorozhny Per., 6. E-mail: office@khingan.ru*

Received January 18, 2023. Revised February 6, 2023. Accepted March 1, 2023.

The Tokinsko-Stanovoy National Park was established at the end of 2019 with its area of about 253 thousand hectares. It is located in the north of the Amur Region, namely, on its border with the Republic of Sakha and the Khabarovsk Krai. The first zoological survey of this territory was carried out by V.Ch. Dorogostaisky's expedition in 1914. In this article we provide basic information about the fauna and population of mammals, obtained over 7 summer-autumn seasons of 1992, 1993, 2009, 2018 and 2020-2022. Expeditions that took place in 2009, 2018 and 2020-2022 were organized and conducted by the Zeya State Nature Reserve, with the help of ecologists from the Water Problems Institute, Khingan State Nature Reserve, Amur Branch of Russian World Wide Fund for Nature, Moscow Zoo and M.V. Lomonosov Moscow State University.

In the vast territory of the park we have registered 27 species of mammals: Laxmann's shrew, Siberian large-toothed shrew, even-toothed shrew, Eurasian least shrew, eastern water bat, mountain hare, northern pika, Siberian flying squirrel, red squirrel, Siberian chipmunk, Korean field mouse, lemming vole, northern red-backed vole, grey red-backed vole, wood lemming, Gromov's vole, wolf, fox, brown bear, wolverine, sable, stoat, lynx, Siberian musk deer, moose, reindeer, Siberian bighorn sheep. Black-capped marmot and American mink were encountered near the boundaries of the specially protected natural areas, meaning that they are very likely to be found in the park as well. According to the literature sources and/or surveys, the following animals were noticed near the park boundaries: tundra vole, Amur lemming, common weasel, Siberian weasel, otter; it is also possible that the Siberian tiger visits the territory rarely. In total, the theriofauna of the Tokinsko-Stanovoy National Park includes 27-35 species from 6 orders and 14 families. This list can be expanded with *Chiroptera* and *Eulipotyphla* after further studies.

A system for zoological monitoring was created in the park and the adjacent territory, including 15 sites for recording the relative abundance of small mammals, and 5 sites for observing Siberian bighorn sheep and other large animals. This system helped to carry out a census of the local theriofauna and find out the abundance, as well as the biotopic, spatial and seasonal distributions of many mammal species. During the studies, the work of specially protected natural areas was assessed for the first time, and the most important directions for improved protection of the animal population and monitoring optimization were outlined. It was also proved that protective measures in the park area have already brought significant results. For example, the intensive and illegal hunting for bighorn sheep was banned in the central part of Toko-Stanovik, and the sex and age structure of the bighorn group began to stabilize. In order to increase the reliability of the regime of specially protected natural areas and to continue the studies of the animal population, it is necessary to create a buffer zone along the territory perimeter and expand the patrols and observations to the eastern part of

the national park.

Keywords: Toko-Stanovik Range, Tokinsko-Stanovoy National Park, mammals, fauna, animal population, animal number, population density, zoological monitoring, nature protection.

DOI: 10.24412/2542-2006-2023-1-162-204

EDN: HMGFQG

The Tokinsko-Stanovoy National Park was established on December 20, 2019 by Decree of the Government of the Russian Federation No. 1735, as part of the State program “Ecology”. This federal specially protected natural area occupies about 253 thousand hectares in the north of the Amur Region, at its junction with the Republic of Sakha and Khabarovsk Krai. Its territory includes Toko-Stanovik, the highest section of the Stanovoy Range; it reaches from the upper basins of the Tok River in the west to the upper and middle reaches basin of the Ayumkan River in the east (Fig. 1). This area is uniquely preserved, as there are no permanent human settlements and agricultural activity except for traditional nature management, such as hunting and reindeer herding.

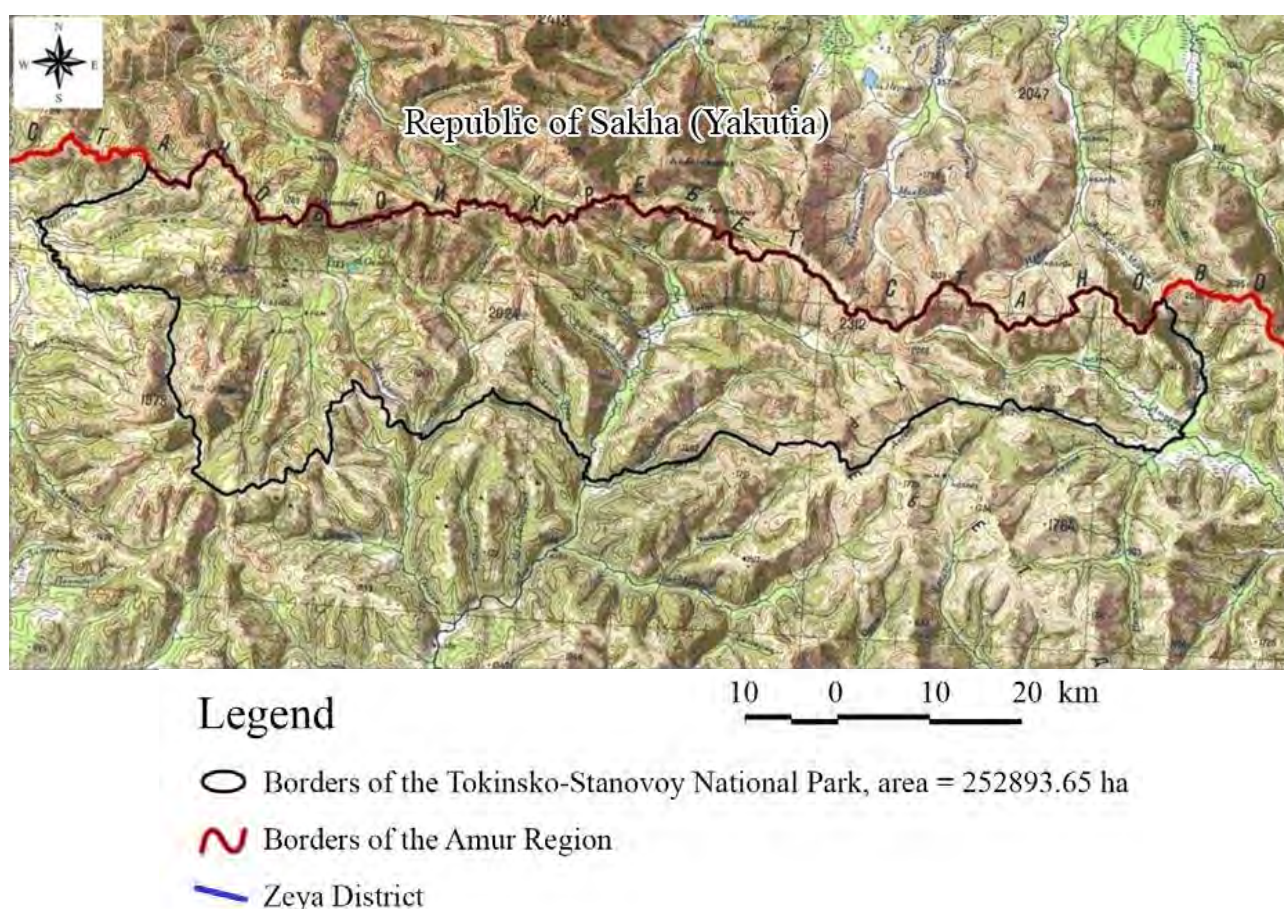


Fig. 1. Location of the Tokinsko-Stanovoy National Park.

According to the system of global zoogeographic zoning (Voronov, 1963), this territory is located within the European-Siberian subregion, in relative proximity to the junction of the northern borders of the Central Asian and Manchurian-Chinese subregions of the Holarctic faunistic region. According to the scheme of regional zoogeographic zoning (Kurentsov, 1965), it is part of the Upper Zeya District of the Zeya-Khingan Province and the high-mountainous province of the Stanovoy Ridge. There, three types of fauna mix: Okhotsk-Kamchatka (Siberian musk deer,

Siberian grouse), East Siberian (red squirrel, East Siberian moose subspecies) and high-mountainous (lemming vole, reindeer, Siberian bighorn sheep). In addition, the Amur fauna (Ussuri moose subspecies, Siberian weasel) can be occasionally found in the middle mountains and river valleys. The high-mountains of the park are extremely important for the conservation of one of the southernmost and viable populations of the Siberian bighorn sheep. The subspecies of the Toko-Stanovik is called the Allen's sheep and listed in the Red Data Books of the Amur Region (2020) and the Republic of Sakha (2019).

Zoological studies of the Toko-Stanovik Range are lacking. The first studies of its western part and the Tok-Tuksani Plateau were conducted in 1914 by V.Ch. Dorogostayskiy's expedition (1915) for the Imperial Academy of Sciences. In 1982-1983 it was examined by the Yakutian hunters from the Novosibirsk design and survey expedition, which helped significantly to establish "Big Tokko" in 1984, a republican zoological reserve. In the 1990s and early 2000s the employees of the Institute for Biological Problems of Permafrost (Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences) worked there under K.A. Voltovsky. Their results, including the study of the local animal world, were published in a collective monograph (Chevichelov et al., 2010).

In 1989-1990 the Amur Scientific Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences together with the Amur Regional Committee for Environmental Protection developed the "Scheme for the Development of Specially Protected Natural Territories of the Amur Region" that was approved on April 25, 1991 by the decision of the VI Session of the Amur Regional Council of People's Deputies (Darman, 1995). Besides, the Ecological Fund funded two expeditions to justify the creation of specially protected federal natural areas on the Toko-Stanovik Range. In 1992 Yu.A. Darman, a zoologist, and V.M. Starchenko and I.I. Shapoval, the botanists, worked in the interfluvium of the Zeya and Luchi Rivers near the Tas-Balagan Pass. In 1993 its eastern edge near the Ayumkan Summit was examined by V.I. Gotvansky and E.Yu. Likutov, the geomorphologists, V.M. Starchenko and I.I. Shapoval, the botanists, and S.A. Podolsky, a zoologist (Gotvansky, Podolsky, 2000).

A complex zoological survey of the territory where the national park is located was continued in the period from September 17 to October 5, 2009. S.A. Podolsky (head of the expedition, senior researcher at the Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences and the Zeya State Natural Reserve), S.Yu. Ignatenko (Director of the Zeya Reserve), O.Ya. Kulikova (master's student of the Moscow State University, Faculty of Geography), V.M. Mankevich (employee of the Directorate for the Protection and Use of the Wildlife of Specially Protected Natural Territories of the Amur Region) and Yu.N. Aboimov (head of the tribal community "Taiga"). This expedition was organized by the Zeya State Nature Reserve and supported financially by the Amur branch of the World Wildlife Fund (WWF). We investigated the drainage basins of the Anachan, Chardat, Ulyagir, Nakit and Maly Okonon Rivers, the middle course of the Tok River, the territories around Okonon and Dugdui Lakes, and the mountain ranges along the border with Yakutia, from the sources of the Maly Okonon River to the sources of the Sredny Okonon River, covering about 180 km in total. In 2010, based on the results of field works that took place in 1993 and 2009, the regional state reserve Tokinsky named after G.A. Fedoseev was founded (Borisova et al., 2020).

The intensity of anthropogenic impact on the territories around the Tokinsky Reserve proceeded to increase rapidly. The Ulak-Elga railway and highway were constructed near its western borders; to the east, where the Ayumkan and Kun-Manye Rivers merge, a large-scale mining operation unfolded; the basin of the middle reaches of the Tok River became a place of continuous logging; cases of hunting bighorn sheep using helicopters were registered. In order to preserve the animal population, unique natural complexes and the traditional way of life of the indigenous people of the North, it was proposed to raise the status of this protected natural area to the federal level. In July-August 2018, thanks to the help of the All-Russian Research Institute "Ecology" and the financial

support of the Amur branch of WWF, the Zeya Reserve conducted an expedition to design the Tokinsko-Stanovoy National Park. The main members of the expedition were S.A. Podolsky (leader), V.A. Kastrikin (deputy director of the Khingan State Natural Reserve), S.V. Dudov (employee of Moscow State University), and T.A. Domanov (researcher of the Zeya Reserve). The caravan was also headed by reindeer-drivers of the Evenk tribal community “Yukte” (i.e. Rill): D. Kolesov, E. Trifonov and A. Krasikova. Once again, we examined the basins of the Anachan, Chardat, Ulyagir, Maly Okonon and Malye Tuksani Rivers, and, additionally, the watershed between the Bolshie Tuksani, Zeya and Sivaktylyak-1 river sources, as well as the sources of the Oyur River (left tributary of the B. Tuksani), the stretch along the Zeya River from the mouth of the Sivaktylyak-1 to the Zeya water reservoir. We acquired extra materials to upgrade the reserve to a national park (Podolsky et al., 2020), and preliminary data on the state of the Siberian bighorn sheep population (Podolsky et al., 2019).

After the establishment of the Tokinsky-Stanovoy National Park under the Zeya State Natural Reserve, summer zoological expeditions were traditionally carried out in its territory every following year, with the participation of such ecologists as S.A. Podolsky (leader, senior researcher at the Institute of Water Problems, deputy director of the Zeya Reserve), K.P. Pavlova (senior researcher of the Zeya Reserve), T.A. Domanov (senior researcher of the Zeya Reserve), E.K. Krasikova (monitoring engineer of the Zeya Reserve), S.V. Dudov (senior researcher at Moscow State University, Faculty of Biology, and researcher at the Zeya Reserve), V.A. Kastrikin (deputy director at the Khingan Reserve), A.I. Antonov (senior researcher at the Khingan Reserve), A.A. Kadetova (senior researcher at the Moscow Zoo), Yu.A. Darman and S.I. Titov (WWF, Amur branch).

This article provides basic information about the fauna and population of mammals of the Tokinsko-Stanovoy National Park and the adjacent territory, which was obtained in 1992-1993, 2009, 2018 and 2020-2022. In addition to the original authors' data, we used the census results for game species based on the materials of the Federal Service for Veterinary and Phytosanitary Supervision were used.

Materials and Methods

Biotope Habitats Differentiation of Mammals

The study area is characterized by altitudinal zonality. Its 3 main zones are well pronounced: forest (mountain taiga), subalpine and alpine (mountain tundra or alpine). The forest includes vegetation of the bottoms of valleys, slopes and watersheds and is located at 1200-1300 m above sea level. The transition from the forest to the alpine gradually goes through the subalpine plant communities, with the latter including a strip of sparse areas and subalpine thickets, located from 1300-1400 to 1500-1600 m above sea level. The alpine vegetation is the upper step of the vertical zonation, which includes the upper parts of the slopes, mountain peaks and watersheds above 1600 m a.s.l.

We classified the forest zone to be part of the low and middle mountains (up to 1200-1300 m a.s.l.), while the subalpine and alpine belong to high mountains (above 1300 m a.s.l.). For the convenience of data collection and analysis of the mammals' biotope distribution, we classified the main types of habitats by giving them a number, a letter index and a conventional name shown in Table 1.

Species Composition of Mammals

The local theriofauna was characterized according to our own observations, literature sources (Chevychelov et al., 2010; Terrestrial mammals ..., 1984; Red Data Book of the Amur Region, 2020), and the surveys carried out among the residents (Table 2). The systematic names of species are given according to A.A. Lisovsky et al. (2019).

Table 1. Mammals' habitats in the study area.

No.	Index	Habitat
I. Natural complexes of slopes and watersheds of low and middle mountains		
Forests on the slopes and watersheds		
1	(Л-СКЛ)	Closed larch forests, sometimes with birch and/or dwarf pine
2	(Е-СКЛ)	Spruce forests, sometimes with larch, birch and/or dwarf pine
3	(Б-СКЛ)	White birch forests леса, sometimes with larch and/or dwarf pine
Sparse forests on the slopes and watersheds		
4	(ЛР-СКЛ)	Sparse and bogged larch forests (dwarf birch bogs) outside the river valleys and floodplains
Screes and rocks on the slopes and watersheds		
5	(Ос-СКЛ)	Screes and rocks, sometimes with hillocks of dwarf pine and/or crowberries
II. Intrazonal (of valleys and coasts) natural complexes of low and middle mountains		
Forests of the valleys and gorges		
6	(Л-ДОЛ)	Larch valley forests, sometimes with birch and/or dwarf pine
7	(Е-ДОЛ)	Spruce valley forests, sometimes with larch, birch, poplar and/or dwarf pine
8	(Смеш-ДОЛ)	Mixed valley and floodplain forests with larch, birch, poplar, sometimes with spruce undergrowth
Open and semi-open valley biotopes		
9	(Р)	River courses and coastal vegetation complex with alternating willows, hillock meadows, oxbow lakes and creeks
10	(ЛР-ДОЛ)	Sparse larch forests, including the bogged ones (dwarf birch bogs) in the river valleys
11	(О-ДОЛ)	Open areas with no forests in the river valleys and along the lake shores: meadows and bogs, sometimes with thickets
12	(СК-ДОЛ)	Screes and rocks in the river valleys, sometimes with hillocks of dwarf pine and/or crowberries
III. Disturbed and anthropogenically altered territories of low and middle mountains		
13	(Г-с)	Freshly burnt areas and logged areas
14	(Г-з)	Overgrowing burnt and logged areas
15	(Т)	Industrial wastelands: buffer areas of power lines, roadsides and buffer areas of roads and railways, areas cleared for construction works
16	(Ос-Т)	Industrial rocky screes and piles: rocky mounds along the railroad, rocky quarries
IV. Natural complexes of the slopes and watersheds of high mountains		
17	(СТЛ)	Thickets of dwarf pine and other elfinwoods
18	(Са)	Alternating subalpine meadows, mountain bogs, thickets and hillocks of dwarf pine
19	(Са-ос,ск)	Screes and rocks among the dwarf pine thickets and in the subalpine zone
20	(А)	Alpine meadows, mountain tundra, bare mountains
21	(А-ос,ск)	Screes and rocks in the alpine zone
V. Valley and coastal natural complexes of high mountains		
22	(Р-В)	River banks and lake coasts with coastal thickets in the alpine and subalpine zones and elfinwoods
23	(О-ДОЛ.В)	Open coastal biotopes: floodplain meadows, bogs, aufeis glades, other open and semi-open coastal biotopes (also, around lakes) in the alpine and subalpine zones and elfinwoods
VI. Disturbed territories of high mountains		
24	ГСТЛ-с	Freshly burnt areas of dwarf pine thickets
25	ГСТЛ-з	Overgrowing burnt areas of dwarf pine thickets

Table 2. Mammals of the Tokinsko-Stanovoy National Park and the adjacent territory.

Species	Data acquisition*	Residence type**	State of the species***
EULIPOTYPHLA			
<i>Soricidae</i>			
Siberian large-toothed shrew – <i>Sorex daphaenodon</i> Thomas, 1907	H	П	–
Laxmann’s shrew – <i>Sorex caecutiens</i> Laxmann, 1785 (1788)	H, Hc	П	–
Even-toothed shrew – <i>Sorex isodon</i> Turov, 1924	H	П	–
Eurasian least shrew – <i>Sorex minutissimus</i> Zimmermann, 1780	H	П	–
CHIROPTERA			
<i>Vespertilionoidae</i>			
Eastern water bat – <i>Myotis petax</i> Hollister, 1912	H	Л, Cк	–
LAGOMORPHA			
<i>Ochotonidae</i>			
Northern pika – <i>Ochotona hyperborea</i> Pallas, 1811	H	П	–
<i>Leporidae</i>			
Mountain hare – <i>Lepus timidus</i> Linnaeus, 1758	H	П	Пр
RODENTIA			
<i>Sciuridae</i>			
Red squirrel – <i>Sciurus vulgaris</i> Linnaeus, 1758	H	П, Hк	Пр
Siberian flying squirrel – <i>Pteromys volans</i> Linnaeus, 1758	H	П	–
Siberian chipmunk – <i>Tamias sibiricus</i> Laxmann, 1769	H	П	–
Black-capped marmot – <i>Marmota camtschatica</i> Pallas, 1811	Hc	?	Охр (КкАо, КкРС)
<i>Cricetidae</i>			
Wood lemming – <i>Myopus schisticolor</i> Lilljeborg, 1844	H	П	–
Amur lemming – <i>Lemmus amurensis</i> Vinogradov, 1924	Ос	?	Охр (КкАо, Прилож. КкРФ)
Northern red-backed vole – <i>Myodes rutilus</i> Pallas, 1779	H	П	–
Grey red-backed vole – <i>Craseomys rufocanus</i> Sundevall, 1846	H	П	–
Lemming vole – <i>Alticola lemminus</i> Miller, 1899	H	П	Охр (КкАо), ГА (ю)
Gromov’s vole – <i>Alexandromys shantaricus</i> Ognev, 1929	H	П	ГА (з)
Tundra vole – <i>Alexandromys oconomus</i> Pallas, 1776	Лс	?	–
<i>Muridae</i>			
Korean field mouse – <i>Apodemus peninsulae</i> Thomas, 1907	H	П	ГА(с)
CARNIVORA			
<i>Canidae</i>			
Wolf – <i>Canis lupus</i> Linnaeus, 1758	H	Зч	Пр
Red fox – <i>Vulpes vulpes</i> Linnaeus, 1758	H	Зч	Пр
<i>Ursidae</i>			
Brown bear – <i>Ursus arctos</i> Linnaeus, 1758	H	П, Hк	Пр
<i>Mustelidae</i>			
Stoat – <i>Mustela (Mustela) erminea</i> Linnaeus, 1758	H	П	Пр
Siberian weasel – <i>Mustela sibirica</i> Pallas, 1773	Ос	?	Пр, ГА(с)
Common weasel – <i>Mustela nivalis</i> Linnaeus, 1766	Лс	?	Пр

Continuation of Table 2.

Species	Data acquisition	Residence type	State of the species
American mink – <i>Neovison vison</i> Schreber, 1777	Нс	?	Пр
Wolverine – <i>Gulo gulo</i> Linnaeus, 1758	Н	Зч	Пр
Sable – <i>Martes zibellina</i> Linnaeus, 1758	Н	П, Нк	Пр
Eurasian otter – <i>Lutra lutra</i> Linnaeus, 1758	Ос	?	Охр (КкРС)
Felidae			
Siberian tiger – <i>Panthera tigris</i> Linnaeus, 1758	Л, Лс	Зр, ?	Охр (КкАо, КкРФ)
Eurasian lynx – <i>Lynx lynx</i> Linnaeus, 1758	Н	Зр	Пр
ARTIODACTYLA			
Cervidae			
Moose – <i>Alces americanus</i> Clinton, 1822	Н	П, Ск	Пр
Reindeer – <i>Rangifer tarandus</i> Linnaeus, 1758	Н	П, Ск	Пр
Moschidae			
Siberian musk deer – <i>Moschus moschiferus</i> Linnaeus, 1758	Н	П	Пр
Bovidae			
Siberian bighorn sheep – <i>Ovis nivicola alleni</i> Matschie, 1907	Н	П	Охр (КкАо, КкРС) ГА(ю)

Notes to Table 2. *Data acquisition**: Н – through observations in the territory of the national park, Нс – in the adjacent territory, Л – literature sources about the park, Лс – literature sources about the adjacent territory, О – surveys carried out in the park, Ос – surveys carried out in the adjacent territory. *Residence type****: П – lives constantly throughout the year, Л – can be found in summer, Зч – frequently visits, Зр – visits rarely and non-annually, Ек – annual seasonal migrations or migrations away from the park, Нк – non-annual migrations are registered, ? – possibly, inhabits the park, but it is not confirmed by reliable encounters. *State of the species****: ГА – lives on the border of its range (ю – southern, с – northern, з – western), Пр – commercial species, Охр – protected species, КкАо – listed in the Red Data Book of the Amur Region (2020), КкРФ – in the Red Data Book of the Russian Federation (2021), ПрилКкРФ – in the Appendix to the Red Data Book of the Russian Federation “List of the Animals in Need of Special Attention”, КкРС – in the Red Data Book of the Republic of Sakha (2019).

Methods and Main Results of Observations

Small mammals. Our main method of census was the usage of spring-loaded bar traps “Hero” that was carried out according to the standard method (Karaseva et al., 2008). The traps were lined up within one biotope, 5 m away from each other, loaded with a standard bait of dried rye bread dipped in virgin sunflower oil. The pieces of foam rubber soaked in vegetable oil were used during the period of prolonged rains. The trap lines were left for at least one night, the optimal duration being two full days. The rate of catch (relative abundance) of mammals in specific habitats was calculated as individuals per 100 trap-days to determine the abundance of mouse-like rodents, Siberian chipmunk, northern pika, and, partially, shrews (Tables 3, 4).

For insectivores, a modified method that involves the usage of pitfall traps, invented by H.S. Barber, was used (Ignatenko, Pavlova, 2012). The traps made of 1 L plastic bottles that we had to cut down to 14 cm, with an entrance diameter of 6.5 cm (the size of a 0.5 L glass jar), were buried in a line. From 25 to 30 bottles were buried and submerged to the ground level, in a line 5 m away from each other. The space 10-15 cm around them was cleared of any vegetation that could get in the way. About 100 ml of a 4.5-5% solution of acetic acid was poured into each trap. They were set for 24-48 hours and inspected once a day to collect the obtained materials. The results of the relative abundance of shrews obtained with H.S. Barber pitfall traps are presented in Table 3.

Table 3. Distribution of rodents and pikas in their habitats according to the censuses carried out with “Hero” spring-loaded bar traps in the Tokinsko-Stanovoy National Park and adjacent territories (based on expeditions of 2018 and 2020-2022); numbers and indices of biotopes are as shown in Table 1.

Biotopes		Year	Trap-days (t.-d.)	Species															
No.	Biotope name (index)			Northern red-backed vole		Grey red-backed vole		Gromov's vole		Lemming vole		Wood lemming		Korean field mouse		Siberian chipmunk		Northern pika	
				ind.	ind./100 t.-d.	ind.	ind./100 t.-d.	ind.	ind./100 t.-d.	ind.	ind./100 t.-d.	ind.	ind./100 t.-d.	ind.	ind./100 t.-d.	ind.	ind./100 t.-d.	ind.	ind./100 t.-d.
1	Larch forests on the slopes (Л-скл)	2018	23	0	0	1	4.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	Dwarf birch bogs on the slopes (ЛР-скл)	2018	75	2	2.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		2022	50	0	0	2	4.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Total	125	2	1.6	2	1.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	Screes and rocks on the slopes (Ос-скл)	2018	25	2	8.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	Larch valley forests (Л-дол)	2018	50	0	0	2	4.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		2020	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		2021	58	2	3.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		2022	15	7	46.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Total	173	9	5.2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	Spruce valley forests (Е-дол)	2020	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		2021	60	4	6.7	4	6.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Total	97	4	4.1	4	4.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	Mixed valley and floodplain forests (Смеш-дол)	2018	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		2021	70	17	24.3	0	0	0	0	0	0	0	7	10.0	0	0	1	1.4	
		2022	15	1	6.7	5	33.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Total	110	18	16.4	5	4.5	0	0	0	0	0	7	6.4	0	0	1	0.9	
9/6	Borders of the thickets near the rivers and larch forests (Р/Л-дол)	2018	25	5	20.0	4	16.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
10/6	Borders of the dwarf birch valley bogs and larch forests (ЛР-дол/ Л-дол)	2021	160	10	6.3	5	3.1	0	0	0	0	1	0.6	0	0	0	0		

Continuation of Table 3.

Biotopes		Year	Trap-days (t.-d.)	Species															
No.	Biotope name (index)			Northern red-backed vole		Grey red-backed vole		Gromov's vole		Lemming vole		Wood lemming		Korean field mouse		Siberian chipmunk		Northern pika	
				ind.	ind./100 t.-d.	ind.	ind./100 t.-d.	ind.	ind./100 t.-d.	ind.	ind./100 t.-d.	ind.	ind./100 t.-d.	ind.	ind./100 t.-d.	ind.	ind./100 t.-d.	ind.	ind./100 t.-d.
11	Coastal meadows and bogs (O-дол)	2018	48	0	0	0	0	7	14.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		2020	200	1	0.5	2	1.0	1	0.5	0	0	0	0	4	2.0	2	1.0	0	0
		<i>Total</i>	<i>248</i>	<i>1</i>	<i>0.4</i>	<i>2</i>	<i>0.8</i>	<i>8</i>	<i>3.2</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>4</i>	<i>1.6</i>	<i>2</i>	<i>0.8</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
17	Thickets of dwarf pine (CT)	2020	113	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.9	1	0.9	0	0
		2021	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	16.7	0	0
		<i>Total</i>	<i>143</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>0.7</i>	<i>6</i>	<i>4.2</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
18	Subalpine zone (Ca)	2020	220	0	0	1	0.45	0	0	0	0	0	0	4	1.8	2	0.45	0	0
		2021	125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3.2	0	0	0	0
		2022	65	1	1.5	4	6.2	5	7.7	0	0	1	1.5	0	0	0	0	0	0
		<i>Total</i>	<i>410</i>	<i>1</i>	<i>0.2</i>	<i>5</i>	<i>1.2</i>	<i>5</i>	<i>1.2</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>0.2</i>	<i>8</i>	<i>1.9</i>	<i>2</i>	<i>0.5</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
19	Subalpine screes and rocks (Ca-oc)	2020	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		2021	120	0	0	1	0.8	0	0	4	3.3	0	0	0	0	0	0	3	2.5
		<i>Total</i>	<i>136</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>0.7</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>4</i>	<i>2.9</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>3</i>	<i>2.2</i>
20/21	Borders of the alpine meadows, rocks and screes (A/A-oc)	2018	50	0	0	1	2.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2.0
		2020	50	0	0	0	0	0	0	3	6.0	0	0	0	0	0	0	1	2.0
		2021	65	0	0	0	0	0	0	8	12.3	0	0	0	0	0	0	1	1.5
		2022	47	0	0	4	8.5	0	0	5	10.6	0	0	0	0	0	0	1	2.1
		<i>Total</i>	<i>212</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>5</i>	<i>2.4</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>16</i>	<i>7.5</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>3</i>	<i>1.4</i>
23	Coastal meadows and bogs of high mountains (O-дол.в)	2020	261	0	0	0	0	9	3.4	0	0	0	0	2	0.8	0	0	0	0
Total		2018-2022	2148	52	2.4	36	1.7	22	1.0	22	1.0	2	0.09	22	1.0	10	0.5	7	0.3

Table 4. Biotopic distribution of insectivores according to the data obtained with “Hero” spring-loaded bar traps (on the left from the line) and Barber’s pitfall traps (on the right) in the Tokinsko-Stanovoy National Park and adjacent territories (based on expeditions of 2020-2022); numbers and indices of biotopes are as shown in Table 1.

Biotopes		Year	Trap-days (t.-d.)	Species							
No.	Biotope name (index)			Laxmann’s shrew		Siberian large-toothed shrew		Even-toothed shrew		Eurasian least shrew	
				ind.	ind./100 t.-d.	ind.	ind./100 t.-d.	ind.	ind./100 t.-d.	ind.	ind./100 t.-d.
1/4	Border between a dwarf birch bog and a larch forest (Л-скл/ЛП-скл)	2022	0/45	0/2	0/4.4	ND/0	ND/0	ND/0	ND/0	ND/0	ND/0
4	Larch and dwarf birch bog (ЛП-скл)	2022	50/0	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND
6	Larch valley forest (Л-дол)	2020	50/0	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	1/0	0.4/0	0/ND	0/ND
		2021	58/0	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND
		2022	15/0	3/0	20.0/0	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND
		<i>Total</i>	<i>123/0</i>	<i>3/0</i>	<i>2.44/0</i>	<i>ND</i>	<i>ND</i>	<i>1/0</i>	<i>0.8/0</i>	<i>ND</i>	<i>ND</i>
6/10	Larch valley forest alternating with dwarf birch bog (Л-дол/ЛП-дол)	2021	100/225	0/13	0/17.3	2/0	2.0/0	0	0	0/1	0/1.3
7	Spruce valley forest (Е-дол)	2020	37/0	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	1/0	0.4/0	0/ND	0/ND
		2021	60/10	0/0	0/0	0/0	0/0	0/2	0/20.0	0/0	0/0
		<i>Total</i>	<i>97/10</i>	<i>0/ND</i>	<i>0/ND</i>	<i>0/ND</i>	<i>0/ND</i>	<i>1/2</i>	<i>1.04/20.0</i>	<i>0/ND</i>	<i>0/ND</i>
8	Mixed floodplain forest (larch, birch, willow, honeysuckle) (Смеш-дол)	2021	70/100	0/4	0/8.0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
		2022	15/0	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND
		<i>Total</i>	<i>85/100</i>	<i>0/4</i>	<i>0/4.0</i>	<i>0/0</i>	<i>0/0</i>	<i>0/0</i>	<i>0/0</i>	<i>0/0</i>	<i>0/0</i>
10	Larch and dwarf birch bog at the creek source (ЛП-дол)	2021	60/225	1/2	1.7/2.7	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
11	Open river banks and river coast of middle mountains (О-дол)	2020	200/0	1/0	0.5/0	0/ND	0/ND	2/0	1.0/0	0/ND	0/ND

Continuation of Table 4.

Biotores		Year	Trap-days (t.-d.)	Species							
No.	Biotope name (index)			Laxmann's shrew		Siberian large-toothed shrew		Even-toothed shrew		Eurasian least shrew	
				ind.	ind./100 t.-d.	ind.	ind./100 t.-d.	ind.	ind./100 t.-d.	ind.	ind./100 t.-d.
17	Thickets of dwarf pine (CТЛ)	2020	113/0	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND
		2021	30/0	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND
		<i>Total</i>	<i>143/0</i>	<i>0/ND</i>	<i>0/ND</i>	<i>0/ND</i>	<i>0/ND</i>	<i>0/ND</i>	<i>0/ND</i>	<i>0/ND</i>	<i>0/ND</i>
18	Subalpine meadows and bogs (Ca)	2020	220/480	0/4	0/0.8	0/0	0/0	0/1	0/0.2	0/0	0/0
		2021	125/0	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND
		2022	65/0	2/0	4.0/0	0/ND	0/ND	1/0	2.0	0/ND	0/ND
		<i>Total</i>	<i>410/480</i>	<i>2/4</i>	<i>0.49/0.83</i>	<i>ND</i>	<i>ND</i>	<i>1/1</i>	<i>0.24/0.21</i>	<i>ND</i>	<i>ND</i>
19	Subalpine screes (Ca-oc)	2020	16/0	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND
		2021	120/0	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND
		<i>Total</i>	<i>136/0</i>	<i>0/ND</i>	<i>0/ND</i>	<i>0/ND</i>	<i>0/ND</i>	<i>0/ND</i>	<i>0/ND</i>	<i>0/ND</i>	<i>0/ND</i>
20/21	Border between a rock run and an alpine meadow (A/A- oc)	2020	50/0	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND
		2021	65/0	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND
		2022	47/0	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND	0/ND
		<i>Total</i>	<i>162/0</i>	<i>0/ND</i>	<i>0/ND</i>	<i>0/ND</i>	<i>0/ND</i>	<i>0/ND</i>	<i>0/ND</i>	<i>0/ND</i>	<i>0/ND</i>
23	Subalpine open river banks and river coast (O-доЛ.В)	2020	261/40	0/0	0/0	0/0	0/0	1/0	0.4/0	0/0	0/0
Total			<i>1827/1125</i>	<i>7/25</i>	<i>0.38/2.22</i>	<i>2/0</i>	<i>0.11/0</i>	<i>6/3</i>	<i>0.33/0.27</i>	<i>0/1</i>	<i>0/0.09</i>

For bats, thin 10-meter-long webs (Botvinkin, 2002; Kruskop, 2021) were used, mounted on telescopic fishing rods and set in various places. After dark they were checked every 15 minutes for 2-4 hours, depending on the environmental conditions. Small mammals were observed at 15 plots in

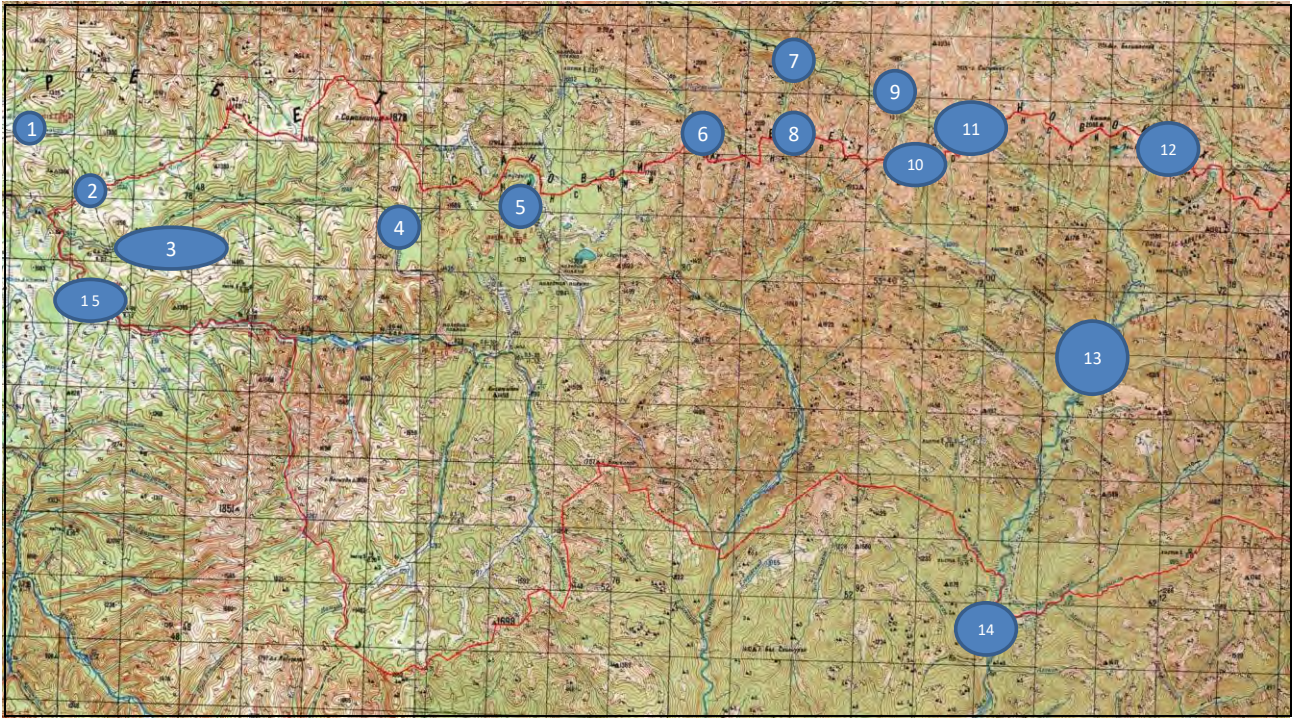


Fig. 2. Capture areas for small mammals. *Legend:* the red line marks the border of the Tokinsko-Stanovoy National Park. Location of the capture areas (the coordinates are given for the center of each area): 1 – “Anachan” (watershed of the Anachan and Algama Rivers – N 55° 44' 56.2", E 129° 32' 19.5"), 2 – “Chardat” (middle and low reaches of the Chardat River – N 55° 42' 41.7", E 129° 39' 34.6"), 3 – “Ulyagir” (basins of the Ulyagir and Neleg Rivers – N 55° 40' 34.2", E 129° 42' 34.2"), 4 – “Inarogda” (basin of the upper reaches of the Inarogda River – N 55° 41' 58.9", E 129° 58' 21.9"), 5 – “Dugdui” (territory of Dugdui Lake – N 55° 42' 58.9", E 130° 07' 00.5"), 6 – “Perevalnoye” (territory of the lake in the catchment area of the B. and M. Tuksani Rivers – N 55° 46' 12.3", E 130° 16' 03.1"), 7 – “Oyur Mouth” (valley of the B. Tuksani River near the mouths of the Oyur and Utuk-Makit Rivers – N 55° 47' 39.0", E 130° 23' 12.1"), 8 – “Oyur Source” (basin of the Oyur River source – N 55° 45' 07.2", E 130° 23' 32.3"), 9 – “Sivaktylyak – Makit Mouth” (valley of the B. Tuksani River near the mouth of the Sivaktylyak – Makit River – N 55° 45' 24.3", E 130° 24' 56.8"), 10 – “Tuksani – Sivaktylyak-1 Pass” (area of the pass between the Sivaktylyak – Makit River source (left tributary of the B. Tuksani River) and the middle source of the Sivaktylyak-1 River – N 55° 44' 06.4", E 130° 31' 15.9"), 11 – “Zeya – B. Tuksani Pass” (area of the pass between the Zeya and B. Tuksani Rivers sources – N 55° 44' 55.4", E 130° 33' 39.0"), 12 – “Tas-Balagan Pass” (area of the Tas-Balagan Pass – N 55° 44' 42.4", E 130° 46' 19.9"), 13 – “Sivaktylyak-1 Mouth” (valley of the Zeya River near the mouth of the Sivaktylyak-1 River – N 55° 37' 42.5", E 130° 42' 08.3"), 14 – “Kara-Urek Mouth” (valley of the Zeya River near the mouth of the Kara-Urek River – N 55° 26' 35.6", E 130° 35' 38.3"), 15 – “Sredniy Tok” (valley of the middle reaches of the Tok River near the “Krasnye Skay” area – N 55° 39' 11.8", E 129° 39' 20.2").

Ungulates and carnivores. During the surveys of large mammals, a special attention was paid to the Siberian bighorn sheep, the most important protected species in the Tokinsko-Stanovoy National Park. The local subspecies, the Allen's sheep, is listed in the Red Data Books of the Amur Region (2020) and Yakutia (2019). Bighorn sheep were observed at 5 sites in the western, central, and eastern parts of Tokinsky Stanovik (Fig. 3).



Fig. 3. Areas of Siberian bighorn sheep observation. *Legend.* Locations and geographical coordinates of central part of each area: 1 – “Ayumkan” (Ayumkan Town; watershed of the Ayumkan, Lucha (Zeyskaya), Sargakanda and Idyum Rivers – N 55° 38' 58.6", E 131° 14' 08.5"), 2 – “Perevalnoye – M. Tuksani” (near Perevalnoye Lake; watershed of the Solokit, B. and M. Tuksani Rivers; watershed of the M. Tuksani and M. Okonon Rivers – N 55° 46' 12.3", E 130° 16' 03.1"), 3 – “Oyur” (source of the Oyur River; watershed of the Oyur, B. Tuksani and B. Okonon Rivers – N 55° 45' 07.2", E 130° 23' 32.3"), 4 – “Zeya – B. Tuksani” (basin of the upper reaches of the Zeya, B. Tuksani and Sivaktylyak-1 Rivers – N 55° 44' 06.4", E 130° 31' 15.9", N 55° 44' 55.4", E 130° 33' 39.0"), 5 – “Tas-Balagan” (Tas-Balagan Pass – N 55° 44' 42.4", E 130° 46' 19.9").

The main method for determining the density of the bighorn sheep population was visual registration at census sites that were located in open areas of slopes and ridges. The same method was used for reindeer and bears in the alpine zone. It was based on N.K. Zheleznovy-Chukotsky's method (1994) for Siberian bighorn sheep census, and applied in 2020-2022 at Tokinsky Stanovik as follows below.

Within each site on the open slopes, cirques and ridges, the census plots were selected; the area of each was determined according to a topographic map at a scale of 1:100000, without the relief being taken into account. We started our observations at 5-6 AM, i.e. when animals were the most active, and ended at twilight. The sites were examined every 15-20 minutes using 8x and 10x

binoculars with antiglare optics to register the number of different animals and groups that had visited the site during the day.

If it was impossible to reliably identify individual animals and groups, in order to avoid overestimating the number of animals, the maximum number of animals, registered at the site at the same time, was taken as a census index. The sites were observed only when they were clear of clouds and fog; most of them were observed repeatedly over several days. To calculate the population density, we used the total number of individual animals recorded within the site over the entire period of census and its area, multiplied by the number of census days. The generalized results for the Siberian bighorn sheep are presented in Table 5.

It is important to remember: if the obtained indicators are used to estimate the number of Siberian bighorn sheep in the national park, the results may be overestimated due to the fact that the data in Table 5 is summarized both for their typical habitats and the areas of their local concentrations near large natural solonetztes.

Table 5. Population density of the Siberian bighorn sheep in Tokinsky Stanovik based on the results of visual censuses at the sites that were carried out in the late summer – autumn (average for all open and semi-open biotopes of high mountains, including areas of concentration).

Year	Season	Part of the area	Census sites (their geographical location)*	Number of registered ind.	Population density (ind./1000 ha)
1993	August	eastern	No. 1 – “Ayumkan” (Ayumkan Town; watershed of the Ayumkan, Lucha (Zeyskaya), Sargakanda and Idyum Rivers)	10	2.5
2009	Early October	western	No. 2 – “Perevalnoye – M. Tuksani” (near Perevalnoye Lake; watershed of the Solokit, B. and M. Tuksani Rivers; watershed of the M. Tuksani and M. Okonon Rivers)	2	1.3
2018	End of July	central	No. 3 – “Oyur” (source of the Oyur River; watershed of the Oyur, B. Tuksani and B. Okonon Rivers); No. 4 – “Zeya – B. Tuksani” (basin of the upper reaches of the Zeya, B. Tuksani and Sivaktylyak-1 Rivers)	27	10.4
2020	End of July – August	central	No. 4 – “Zeya – B. Tuksani” (basin of the upper reaches of the Zeya, B. Tuksani and Sivaktylyak-1 Rivers)	58	7.2
2021	2 nd half of July	central	No. 5 – “Tas-Balagan” (Tas-Balagan Pass); No. 4 – “Zeya – B. Tuksani” (basin of the upper reaches of the Zeya, B. Tuksani and Sivaktylyak-1 Rivers)	48	9.3
2022	2 nd half of July – August	central	No. 4 – “Zeya – B. Tuksani” (basin of the upper reaches of the Zeya, B. Tuksani and Sivaktylyak-1 Rivers); No. 3 – “Oyur” (source of the Oyur River; watershed of the Oyur, B. Tuksani and B. Okonon Rivers)	94	10.6

Note to Table 5: * – numbers and coordinates of the sites are given in Figure 3.

In addition to registering the number of bighorn sheep population group, their sex and age composition were recorded. Given the fact that most of their individuals were observed from more than 500 m, only 3 indices were distinguished from the observations to avoid errors in the further analysis: 1) “adult males”, 2) “females and young animals”, 3) “underyearlings”. The “adult males” conditionally included all male individuals older than 2 years that can be recognized easily at any distance. The “females and young animals” included adult and young females, as well as young males up to 2 years old that often prefer to stay together with their families. Data on the age and sex structure of the Tokinsky Stanovik population of Siberian bighorn sheep collected in 2022 are shown in Table 6.

Table 6. Indices of sex and age structure of the Siberian bighorn sheep population in Tokinsky Stanovik collected for different years.

Year	Season	Total		♂ Ad*		♀ Ad** ♀ Sad*** ♂ Sad****		Juv*****		Sp*****	
		absolute	%	absolute	%	absolute	%	absolute	%	absolute	%
1992	End of July	15	100	2	13.3	7	46.7	4	26.7	1	6.7
1993	August	10	100	4	40.0	4	40.0	2	20.0	0	0
2009	Early October	2	100	0	0	0	0	0	0	2	100
2018	End of July	27	100	4	22.2	13	48.2	8	29.6	0	0
2020	End of July – August	58	100	7	12.1	38	65.5	9	15.5	4	6.7
2021	June – early July	540	100	98	18.2	262	48.5	94	17.4	86	15.9
2022	July-August	94	100	15	16.0	63	67.0	10	10.6	6	6.4

Notes to Table 6: ♂Ad* – adult males (older than 2 years), ♀ Ad**** – adult females, ♀ Sad*** – young females (1-2 years old), ♂ Sad**** – young males (1-2 years old), Juv***** – underyearlings (younger than 1 year), Sp***** – sex and age could not be identified.

As an additional method of visual census, we recorded ungulates and carnivores along our complex zoological routes by taking into account every encounter on a transect of indeterminate width that was determined by the average detection distance. Thus, we estimated the population density of reindeer, brown bear and stoat in various biotopes (Table 7).

Moreover, in 2022 we estimated their abundance using traces of their vital activity (Table 8) by finding their scat in a 3-meter-wide strip of such large mammals as elk, reindeer, Siberian musk deer and bear. For moose, only the winter scat was counted.

To identify the total load of moose and Siberian musk deer on various biotopes, we estimated their presence by “scat method” (Sorokina, 1977), which Yu.A. Darman (1994) adapted for the Amur Region. The coefficients (K_d) were calculated to quickly move from the “number of scats per 1 ha” to the “number of individuals per 1000 ha”. In order to do this, the resulting census index (“number of scats per 1 ha”) should be divided by K_d . For moose, $K_d = 3.02$, for Siberian musk deer, $K_d = 2.2$. For musk deer, K_d was determined empirically based on observations in the Zeya Reserve. For moose, the census based on scat showed the estimated winter population density, while for musk deer it was the average number for all seasons. For the reindeer and brown bear, only relative numbers were obtained.

Aside from field observations required for the analysis, we used stock data for 2013-2017 censuses, received for Tokinsky Stanovik and adjacent territory from the Department for the Protection, Control and Regulation Management of Wildlife Objects and Their Habitats in the Amur Region (Table 9).

Table 7. Census results for the number of mammals in the middle and high mountains of Tokinsky Stanovik based on encounters in 2020-2022 along the routes.

Biotope		Year	Site	L* (km)	Species											
No.	Index				Reindeer				Brown bear				Stoat			
					N (ind.)	Lcp (m)	S (km ²)	P (ind./ 1000 ha)	N (ind.)	Lcp (m)	S (km ²)	P (ind./ 1000 ha)	N (ind.)	Lcp (m)	S (km ²)	P (ind./ 1000 ha)
6	Larch valley forests (Л-дол)	2020	No. 4 – “Zeya – B.Tuksani”	44.0	1	80	3.5	2.9	0	0	0	0	0	0	0	0
		2021	No. 5 – “Tas-Balagan”	10.7	0	0	0	0	1	80	0.9	11.1	0	0	0	0
		2022	No. 4 – “Zeya – B.Tuksani”; No. 3 – “Oyur”	70.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		<i>Total</i>			<i>124.7</i>	<i>1</i>	<i>80</i>	<i>10.0</i>	<i>1.0</i>	<i>1</i>	<i>80</i>	<i>10.0</i>	<i>1.0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
9	River courses and coastal thickets of middle mountains (P)	2020	No. 4 – “Zeya – B.Tuksani”	9.0	0	0	0	0	1	600	5.4	1.8	0	0	0	0
		2021	–	1.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		<i>Total</i>			<i>10.6</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>600</i>	<i>6.4</i>	<i>1.6</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
11	Open areas with no forests in the river valleys and along the lake shores of low and middle mountains (О-дол)	2020	No. 4 – “Zeya – B.Tuksani”	15.0	1	100	1.5	6.7	0	0	0	0	0	0	0	
		2021	No. 5 – “Tas-Balagan”	2.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		2022	No. 4 – “Zeya – B.Tuksani”	3.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		<i>Total</i>			<i>20.6</i>	<i>1</i>	<i>100</i>	<i>2.1</i>	<i>4.8</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
17	Thickets of dwarf pine and other elfinwoods (СТЛ)	2020	No. 4 – “Zeya – B.Tuksani”	21.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		2021	No. 5 – “Tas-Balagan”	7.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		2022	No. 4 – “Zeya – B.Tuksani”; No. 3 – “Oyur”	16.0	1	100	1.6	6.2	0	0	0	0	0	0	0	
		<i>Total</i>			<i>44.7</i>	<i>1</i>	<i>100</i>	<i>4.5</i>	<i>2.2</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>

Continuation of Table 7.

Biotope		Year	Site	L (km)	Species											
No.	Index				Reindeer				Brown bear				Stoat			
					N (ind.)	Lcp (m)	S (km ²)	P (ind./ 1000 ha)	N (ind.)	Lcp (m)	S (km ²)	P (ind./ 1000 ha)	N (ind.)	Lcp (m)	S (km ²)	P (ind./ 1000 ha)
18, 19	Subalpine zone: subalpine meadows, bogs, bushes; screes and rocks (Ca, Ca- oc,ck)	2020	No. 4 – “Zeya – B.Tuksani”	34.5	2	100	3.5	5.7	1	200	6.9	1.4	0	0	0	0
		2021	No. 5 – “Tas-Balagan”	39.3	6	558	21.9	2.7	5	640	25.2	2.0	0	0	0	0
		2022	No. 4 – “Zeya – B.Tuksani”; No. 3 – “Oyur”	53.0	2	145	7.7	2.6	0	0	0	0	1	5	0.3	33.3
		<i>Total</i>			92.3	10	268	24.7	4.1	6	420	38.8	1.5	1	5	0.5
20, 21	Alpine zone: meadows, mountain tundra, bare mountains; rocks and screes (A, A-oc,ck)	2020	No. 4 – “Zeya – B.Tuksani”	46.5	0	0	0	0	1	1500	69.7	0.14	0	0	0	0
		2021	No. 5 – “Tas-Balagan”	37.5	1	600	22.5	0.5	5	1540	57.8	0.9	0	0	0	0
		2022	No. 4 – “Zeya – B.Tuksani”; No. 3 – “Oyur”	41.0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	5	0.2	100.0
		<i>Total</i>			125.0	1	600	75.0	0.13	6	1520	190.0	0.32	2	5	0.63
22	Stream channels and coastal thickets of high mountains (P-B)	2021	No. 5 – “Tas-Balagan”	9.8	0	0	0	0	1	600	0	0	0	0	0	0
23	Open areas of river valleys and lake coasts in low mountains (O-дол.в)	2021	No. 5 – “Tas-Balagan”	12.9	1	700	9.0	1.1	0	0	0	0	0	0	0	0
		2022	–	3.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		<i>Total</i>			15.9	1	700	11.1	0.9	0	0	0	0	0	0	0
<i>Total for 2020-2022</i>				443.6	15	308	136.6	1.1	15	644	285.7	0.5	3	5	2.2	13.6

Notes to Table 7: L – length of the routes (km), N – number of registered individuals, Lcp – average detection distance (m), S – total area of the census transect (km²), P – population density (ind./1000 ha), serial numbers and indices of biotopes correspond to those given in Table 1; the numbers and coordinates of the sites are given in Figure 3.

Table 8. Census of large mammals in the middle and high mountains of Tokinsky Stanovik by their scat, from 13/07/22 to 21/08/22, in the basins of the sources and upper reaches of the Zeya, B. Tuksani, Sivaktylyak-1 and Oyur Rivers.

Biotopes		L (km)	Species									
No.	Index		Moose*			Reindeer		Siberian musk deer			Brown bear	
			scat	scat/ ha	ind./ 1000 ha	scat	scat/ ha	scat	scat/ ha	ind./ 1000 ha	scat	scat/ ha
6, 9	Larch valley forests (Л-дол), river courses and bank thickets (P) of middle mountains	70.0	71	3.4	1.1	35	1.7	4	0.2	0.1	9	0.43
11	Valley meadows and bogs (О-дол) of middle mountains	6.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Total in middle mountains below 1500 m. a.s.l.</i>		76.0	71	3.1	1.0	35	–	4	0.17	0.08	9	0.39
17	Thickets of dwarf pine (Стл)	16.0	0	0	0	3	0.63	3	0.63	0.3	8	1.7
18	Subalpine meadows, bogs and thickets (Ca)	53.0	0	0	0	17	1.1	0	0	0	2	0.13
20	Alpine meadows, mountain tundra and bare mountains (A)	41.0	0	0	0	3	0.24	0	0	0	5	0.4
<i>Total in high mountains from 1400 m to 2100 m a.s.l.</i>		110.0	0	0	0	23	0.7	3	0.09	0.04	15	0.45
<i>Total</i>		186.0	71	2.3	0.75	58	1.0	7	0.13	0.06	24	0.43

Notes to Table 8: Moose* – only winter scat was counted.

Table 9. Population density (ind./1000 ha) of game animals in 2013-2017 in the Tokinsky Nature Reserve and adjacent territories, according to the data from the Department for the Protection, Control and Regulation Management of Wildlife Objects and Their Habitats in the Amur Region.

Site	Area (ha)	Moose	Reindeer	Siberian musk deer	Sable	Stoat	Hare	Squirrel	Wolf	Lynx	Wolverine
2013											
State Nature Reserve “Tokinsky”	251000	*	*	0.41	0.41	0.72	0.14	1.08	0	0	0.02
LLC “Bomnak”	1390800	0.30	0.23	0.81	4.12	0.05	0.23	1.46	0.01	0	0
Ancestral hunting grounds of the tribal community Yukte of the indigenous people of the North	1268000	0.37	0.37	0.32	1.43	0.23	1.49	0.71	0.08	0.01	0.02
2014											
LLC “Bomnak”, small area	530000	0.48	0.35	1.60	4.35	not found	0.30	3.02	0.05	0.15	0.01
LLC “Bomnak”, big area	860800	0.25	0.72	2.76	4.97	not found	not found	1.03	0.03	0.06	0.02
Ancestral hunting grounds of the tribal community Yukte of the indigenous people of the North	1268000	0.69	0.55	1.0	3.13	1.27	1.82	0.76	0.20	0.05	0.03
2015											
LLC “Bomnak”	530000	0.51	1.52	2.90	3.84	0.23	0.63	2.91	0.02	0.11	0
Common lands of the Zeya District	2936600	0.29	0.22	0.32	0.15	0.62	0.63	0.40	0.04	0	0.02
2016											
Common lands of the Zeya District	2936600	0.75	0.88	1.05	1.92	0.05	1.78	1.47	0.04	0	0.02
2017											
Zeya public hunting grounds	2936600	0.45	0.28	0.40	0.83	0.21	0.84	0.79	0.01	0	0.01
В среднем		0.45	0.57	1.2	2.5	0.42	0.87	1.36	0.05	0.04	0.02

Notes to Table 9: * – during the winter census moose and reindeer move out to the adjacent territories due to extremely deep snow, н.д. – the species was not encountered during the winter census.

Results and Discussion

According to available information, the mammalian fauna of the Tokinsko-Stanovoy National Park includes 27-35 species from 6 orders and 14 families (Table 2). Below we provide brief information on the species that we registered ourselves, and the species that are most likely to inhabit the studied territory.

Eulipotyphla

Laxmann's shrew is dominant in *Eulipotyphla* communities throughout the north of the Amur Region and is the most widespread and abundant species of shrews in the park (Photo 1). Its average rate of catch using the spring-loaded bar traps "Hero" was 0.38/100 trap-days (hereinafter – t.-d.); the pitfall traps – 2.2/100 t.-d. The Laxmann's shrew was caught in 6 sites: No. 3 (basins of the Ulyagir and Neleg Rivers), No. 7 (valley of the B. Tuksani River at the mouth of the Oyur River), No. 11 ("Zeya – B. Tuksani" Pass), No. 12 (Tas-Balagan Pass), No. 13 (valley of the Zeya River near the mouth of the Sivaktylyak-1 River), and No. 14 (valley of the Zeya River near the mouth of the Kara-Urek River, about 10 km south outside of the park border; Fig. 2). This shrew was found in most biotopes, including subalpine ones, but was not recorded in thickets of Siberian dwarf pine and the alpine zone, being the most numerous in the valley larch forests (2.4 ind./100 t.-d.), dwarf birch bogs (1.7 ind./100 t.-d. for spring-loaded traps; 2.7 ind./100 t.-d. for pitfall traps), and along their borders (17.3 ind./100 t.-d. for pitfall traps; Table 4).



Photo 1. Laxmann's shrew is dominant in *Eulipotyphla* communities throughout the north of the Amur Region (photo by S.A. Podolskiy).

Even-toothed shrew is common for the region, being the second most frequently encountered species of shrews in the park. Its average rate of catch using the spring-loaded bar traps "Hero" was 0.33 ind./100 t.-d.; the pitfall traps – 0.27 ind./100 t.-d. The even-toothed shrew was caught in 2 sites: No. 11 ("Zeya – B. Tuksani" Pass), and No. 13 (valley of the Zeya River near the mouth of the Sivaktylyak-1 River; Fig. 2). It prefers humid habitats, and was found in the valley forests and meadows along the banks, including the subalpine zone (Table 4). This shrew is the most numerous in the valley forests with spruce (1.04 ind./100 t.-d. for spring-loaded traps; 20.0 ind./100 t.-d. for pitfall traps).

Siberian large-toothed shrew is not numerous in the north of the region, and is rare in the park itself. Its average rate of catch using the spring-loaded bar traps “Hero” was 0.11 ind./100 t.-d., caught only in 2021 in the site No. 13, on the border between a valley larch forest (with thickets of elfinwoods and dog rose, and stone remains) and birch bog along the right bank of the Zeya River above the mouth of the Sivaktylyak-1 River (2.0 ind./100 t.-d.).

Eurasian least shrew is widely distributed in the north of the region, but in small numbers; its encounters in the park are rare. Its average rate of catch using the pitfall traps was 0.09 ind./100 t.-d. The only specimen, an adult mature male, was caught in 2021 at the site No. 13, into a pitfall trap that was set in a larch forest with the thickets of elfinwoods and dog rose, stone remains, wet sphagnum patches of Labrador tea, blueberries and sedges, and patches of green moss and lichens, along the right bank of the Zeya River above the mouth of the Sivaktylyak-1 River (1.3 ind./100 t.-d.).

Chiroptera

Eastern water bat is one of the most common species of *Chiroptera* in the Far East (Photo 2). In 2021, the fact of its presence in the park was established at the site No. 13 (Fig. 2). Two males got caught into a net that was installed on 28/07/2021 above the left-bank channel of the Sivaktylyak-1 River in a floodplain poplar-larch shrub-forb forest (N 55.62638, E 130.70210). They were then marked with individual aluminum rings (29-01992, 29-01993) and released at the place of capture.



Photo 2. Eastern water bat was found in the national park, in a floodplain forest near the mouth of the Sivaktylyak-1 River (photo by A.A. Kadetova).

Lagomorpha

Northern pika is a common and, in places, numerous species, most natural in the rocky areas and stone runs of the subalpine and alpine zones (Photo 3). Its average rate of catch using the spring-loaded bar traps “Hero” was 0.3 ind./100 t.-d. (Table 3). In 2020 and 2022, pika was numerous on stone runs in the alpine and subalpine zones and in the dwarf pine thickets on the “Zeya – B. Tuksani” Pass, where A.I. Antonov photographed a dark-furred pika in 2020 (N 55.74814,

E 130.57227; Photo 4). In August 2022, a similar looking animal was observed at the edge of the stone run near the line of spring-loaded bar traps, between the right source of the Zeya River and the left source of the B. Tuksani River. In 2021 pika was as numerous near the Tas-Balagan Pass, as at the “Zeya – B. Tuksani” Pass. Most of its large inhabited colonies were found in old screes with medium-sized stones in the subalpine zone and among thickets of dwarf pine, where pika’s relative abundance was at its maximum of 2.5 ind./100 t.-d. Northern pika is the main prey of stoats, which are the most numerous predators of the high mountains of the Tokinsky Stanovik. In 2022, the stoats were observed hunting around pika’s colonies 3 times.



Photo 3. Northern pika is a common species of the stone runs (photo by S.A. Podolskiy).

Mountain hare is not numerous in the studied territory. Its abundance changes dramatically over the years, sometimes tenfold, in a cycle. In the northern part of the Far East, the large abundance numbers are observed every 10-12 years. During autumn, hares prefer floodplains, while in spring they can move up to the subalpine and alpine zones. Its population density in the territory that is now part of the park, was 0.14 ind./1000 ha according to the winter census of 2013. On average, in 2013-2017 in the Amur part of Tokinsky Stanovik and the adjacent territory (according to the records of the Department for the Protection, Control and Regulation Management of Wildlife Objects and Their Habitats in the Amur Region), the mountain hare population density was 0.87 ind./1000 ha, varying from 0.14 ind. to 1.78 ind. Per 1000 ha (Table 8). In the summer of 2020, hare droppings were common in the subalpine and alpine zones near the “Zeya – B. Tuksani” Pass. In 2022, it was less frequent and only in the alpine zone. In July 2021, it was found on the Tas-Balagan Pass, where the hare was not quite numerous as well.

Rodentia

Siberian flying squirrel is not a numerous species (Photo 5). In the summer of 2018, it was found in the upper reaches of the Ulyagir River: at least four flying squirrels inhabited the hollows

of an old larch, inclined over the left bank of a stream (N 55° 41' 37.1", E 129° 52' 44.4"). In 2021, one animal was observed at the mouth of the Kara-Urek River (site No. 14) in a strip of birch-larch forest along the bank (Fig. 2).



Photo 4. Black-coated pikas are a rare sight in the national park (photo by A. Antonov).



Photo 5. Siberian flying squirrel is a common, but not quite numerous species of the forest zone (photo by S.A. Podolskiy).

Red squirrel in the park is rare or few. Its main habitats are tall larch forests and spruce-larch forests in river valleys, as well as mountain spruce forests. The main factors influencing its number

are larch and spruce productivity, climate factors and wild fires. The population density of squirrels in the studied area, according to the data of the winter survey of 2013, was 1.08 ind./1000 ha. In the Amur part of Tokinsky Stanovik and the adjacent territory in 2013-2017 (according to the records of the Department for the Protection of the Amur Region), the average population density of squirrel was 1.36 ind./1000 ha, varying from 0.4 ind. to 3.02 ind. per 1000 ha. In 2009, one squirrel was seen in the sparse larch forests of the Okonon Plateau. In 2018, 2020 and 2021, it was a rare sight in the park. In 2020, some spruce cones eaten by a squirrel were found at the source of the Zeya River.

Siberian chipmunk is numerous and can be found in most biotopes. Its average rate of catch using the spring-loaded bar traps “Hero” was 0.5 ind./100 t.-d. (Table 3), with its maximum of ind./100 t.-d. in the thickets of dwarf pine (Photo 6). In 2020 and 2022 at the “Zeya – B. Tuksani” Pass chipmunk was very abundant, with a local cluster found near a tourist base, where they actively collected and stored food waste left by people. Additionally, we registered two times when chipmunks visited a natural solonetz to lick and gnaw on mineralized soil. In 2021, near the Tas-Balagan Pass, chipmunks were observed in most biotopes, except for the alpine zone, being the most numerous in the subalpine zone and in thickets of dwarf pine.



Photo 6. Siberian chipmunk is a typical species of the thickets of dwarf pine (photo by O. Agni).

Black-capped marmot is listed in the Red Data Books of the Amur Region (2009, 2020), Republic of Sakha (2019) and Russia (2021) as a species with an undetermined status. In the Red Book of Russia, the marmot's range includes part of the Stanovoye Upland. In different years, unverified reports would come from various sources about the discovery of its colonies in the western part of the Stanovoy Range or the commercial production of the animals themselves. The Red Book of the Republic of Sakha (2019) provides reliable information collected by E.V. Shemyakin about his discovery that took place in June 2016, when he found an inhabited colony of marmots with the actual sighting of at least 3 marmots on the northern macroslope of

the western part of the range, at the source of the Burzhuyka River (left tributary of the Aldan River, northern macroslope of the Zverev Ridge).

In the summer of 2018, inhabited dens and fresh paths that presumably belonged to the black-capped marmots, were discovered on the circus of a nameless left tributary of the B. Tusani River, located upstream, to the east of the Oyur River (N 55° 45' 24.3", E 130° 24 ' 56.8"; N 55° 45' 24.6", E 130° 25' 00.0"; N 55° 45' 24.4", E 130° 25' 02.3"). Besides, a distinctive whistle of disturbed marmots was heard twice around that place. The burrows with a diameter of 12-15 cm were similar to those found on the Verkhoyansk Range. This colony is located on the territory of Yakutia, about 500 m north of the Tokinsko-Stanovoy National Park border. To confirm that marmots inhabit the park as well, a special search for their colonies in the highlands should be carried out.

Northern red-backed voles is common and sometimes even numerous (Photo 7). Its average rate of catch in 2018-2022 using the spring-loaded bar traps "Hero" was 2.4 ind./100 t.-d. (Table 3). Vole is a common species of the valley forests and dwarf birch bogs, where it reaches the peak of its numbers; much it is much less common in the floodplain and subalpine meadows (Table 3). The red-backed vole was caught at 9 sites: No. 1, 2, 3, 7, 8, 11, 13, 14 and 15 (Fig. 2). In 2009, it was found in the valley of the Chardat River and the Okonon Plateau; in 2018, it was caught in the basins of the Anachan, Chardat, Ulyagir and Zeya Rivers (below the Lokshak weather station outside the park territory). In 2022, red-backed vole was the dominant species among small mammals in the valley forests of the upper reaches of the B. Tuksani River (46.6 ind./100 t.-d.). Moreover, single individuals were caught in humid subalpine meadows of the right source of the Oyur River.



Photo 7. Northern red-backed vole is a common species of the valleys and dwarf birch bogs of the park (photo by S.A. Podolskiy).

Grey red-backed vole is common, numerous in some places and widespread. Its average rate of catch in 2018-2022 was 1.7 ind./100 t.-d., which is almost as high as the catch rate of northern red-backed vole (Table 3). This species has the widest habitat range, being common in most forest biotopes, floodplains and subalpine meadows (Table 3). Red-backed vole was caught at 8 sites: No. 2, 6, 7, 8, 9, 11, 12 and 13 (Fig. 2). In 2022 it was quite common for the subalpine zone of the "Zeya – B. Tuksani" Pass (8.0 ind./100 t.-d.); in 2021 it was registered in the subalpine zone of the Tas-Balagan Pass, in the thickets of Siberian dwarf pine and in the sparse bogged valley forests,

where it was especially numerous (1.7 ind./100 t.-d.).

Lemming vole is a protected species from the Red Data Book of the Amur Region (2009, 2020), listed as Class 3, i.e. this species is rare, with highly patched range. Prior to our research, reliable finds of lemming vole were only in the western part of the Tukuringr Range outside the territory of the Zeya Reserve. Its average rate of catch in 2018-2022 at the Tokinsky Stanovik was 1.0 ind./100 t.-d. This vole prefers a specific type of habitat with stone runs between the alpine and subalpine zones, where it is dominant with the average number of 7.5 ind./100 t.-d. It was found only at 2 sites, including high mountains: No. 11 and 12 (Fig. 2). In 2020 it was found on the watershed of the sources of the Zeya and B. Tuksani Rivers (No. 11) near the border of stone run and mountain tundra with tussocks of dwarf pine. In 2022, it was dominant in the same biotope, but in the alpine zone (14.9 ind./100 t.-d.). In 2021, lemming vole was dominant in the mouse-like community near the Tas-Balagan Pass (No. 12). Its highest numbers were registered near the lower borders of stone runs and alpine meadows (10.8 ind./100 t.-d.). It was also found in rocky patches of the subalpine zone, as well as among thickets of dwarf pine.

Gromov's vole. It was believed before that its distribution area was limited to southeastern Yakutia and the southern part of the Western Okhotsk Region (Dokuchaev, Sheremetyeva, 2017). Gromov's vole is sporadically distributed throughout the park in the meadow habitats along the lakes and in the wet subalpine meadows, where it can reach a high abundance. It was first discovered in the Amur Region in 2018. The census line was stretched along the lake shore in the basin of the upper reaches of the Inarogda River, at the western end of the Okonon Plateau (N 55° 41' 58.9", E 129° 58' 21.9", site No. 4; Fig. 2). Its biotope is treeless shores with moss, lichen, crowberries, dwarf birch, cinquefoil and wolf's bane. In the summer of 2020 and 2022, it was caught in the subalpine zone of the "Zeya – B. Tuksani" Pass (No. 11; Fig. 2). In 2022, its rate of catch in a wet subalpine meadow with willow tussocks and crowberries was 10.0 ind./100 t.-d. Its average rate of catch in 2018-2022 at Tokinsky Stanovik was 1.0 ind./100 t.-d.

Tundra vole was encountered on the northern foothills and low mountains of the Stanovoy Ridge (Chevychelov et al., 2010), however, we never caught it in the central part of Tokinsky Stanovik. There is a possibility of tundra vole living in the park itself, but it is yet to be confirmed.

Wood lemming is rare or few. It can be found in various biotopes with developed moss cover. In case of this lemming species, the spring-loaded bar traps "Hero" are not effective, so its average rate of catch in 2018-2022 was 0.09 ind./100 t.-d. In 2021, a single specimen, an adult mature female, was caught in a trap in a larch forest with thickets of elfinwood and dog rose, stone remains, wet sphagnum patches of rosemary, blueberry and sedges, and patches of green moss and lichen along the right bank of the Zeya River, above the mouth of the Sivaktylyak-1 River (N 55.628913, E 130.70275), in the territory of the park (No. 13; Fig. 2). In 2022, lemming was caught in a wet subalpine meadow with patches of sphagnum bogs at the source of the Oyur River (No. 8; Fig. 2). In addition, a dead wood lemming was found in the valley larch forest of the upper reaches of the B. Tuksani River (No. 7; Fig. 2).

Amur lemming is listed in the Red Data Book of the Amur Region (2020) as a rare, relic and extremely few species; it is also included into the Appendix to the Red Data Book of the Russian Federation "List of the Animals in Need of Special Attention" (2000). Its habitats are wet valleys and boggy cols, with forb-cereal-sedge vegetation and moss cover as the ground layer. There are known finds in the foothills of the Suktakhan Ridge, on the Upper Zeya Lowland near the mouth of the Argi River (Red Data Book of the Amur Region, 2009) and in the basin of the upper reaches of the Aldan River (Revin, Popov, 1988; Revin, 1989). According to surveys (A.P. Krasikova's report), Amur lemming can be encountered in the valley of the Nuyam River, about 50-60 km southwest of the western border of the Tokinsko-Stanovoy National Park. Its presence in the park is possible, but must be confirmed first, so the best survey areas should be in the dwarf birch bogs, along the valleys and watersheds of the Tok, Chardat and Ulyagir Rivers,

and in the wetlands of the Okonon Plateau (Tok-Tuksani Plateau).

Korean field mouse can be found both in the Amur Region and Yakutia. In Yakutia, the field mouse is common in the developed floodplain forests of plains and low mountains (Chevichelov et al., 2010). Until recently, the high mountains of the Stanovoy Ridge were considered a place where its range grows especially patchy. Before that, in the north of the Amur Region, the field mouse was encountered only in the oak and black birch forests and tall mixed valley forests. The northernmost find of this species in the region was the valley of the Zeya River, 8 km below the Lokshak weather station. In 2020, it was a common species of the subalpine zone of the “Zeya – B. Tuksani” Pass (site No. 11; Fig. 2). In 2021, it was caught on the Tas-Balagan Pass (No. 12; Fig. 2). It was also abundantly found in the subalpine zone and the valley sparse boggy forests (5.0 ind./100 t.-d.). In 2022, it was dominant in the subalpine zone of the source of the Oyur River (20.0 ind./100 t.-d., No. 8; Fig. 2). Its average rate of catch at Tokinsky Stanovik in 2018-2022 was 1.0 ind./100 t.-d.

Carnivora

Brown bear is common or numerous. It is distributed throughout the most biotopes of the study area (Tables 7, 8), but its most typical habitats are valley forests and thickets along the rivers (Photo 8), subalpine zone (Table 7) and thickets of Siberian dwarf pine. The number of bears in the national park varies dramatically from year to year.

For example, in the summer of 2021, its abundance in the park and the adjacent territory was close to its maximum. At the Tas-Balagan Pass (No. 5; Fig. 3), there were 12 visual sightings of bears. Their population density was 0.9 ind./1000 ha in the alpine zone, 2.0 ind./1000 ha in the subalpine zone, 1.1 ind./1000 ha on average in the high mountains, and 1.12 ind./1000 ha on average in the study area. A female bear with two cubs was noticed twice, but the rest of the records were about single animals. On the contrary, in the summer of 2022, the number of bears in the high mountains of the central part of Tokinsky Stanovik was close to its minimum, because there were no visual encounters, but, based on the found scat, the data on its relative abundance in different biotopes were obtained (Table 8). The average population density based on visual encounters along the routes in 2020-2022 was 0.5 ind./1000 ha (Table 7). Therefore, the total number of brown bears in the park, the area of which is about 253 thousand ha, can be approximately estimated at 110-130 ind.

In the park territory in the southwestern foothills and low mountains of Tokinsky Stanovik, brown bears cause damage to herds of domestic reindeers. They usually hunt calves, rarely going after the adult animals. According to reindeer herders, during the calving period in the spring of 2022, bears constantly visited the base at the mouth of the Neleg River (No. 3; Fig. 2). At least 8 bears were seen trying to hunt reindeer calves. They were scared away by shots aimed in the air, dogs, and constantly maintained smoking pyres. In the western part of the park near the Ulak–Elga highway, bears that are accustomed to the presence of humans can pose a real danger not only to domestic reindeers, but to humans themselves.

Wolverine number in the national park is small. Just like wolves, it enters Tokinsky Stanovik through the valleys of large rivers and streams before the heavy and deep snow covers the ground and lives mainly where the population density of Siberian musk deer is high. The average density of the wolverine population in 2013 in the study area was 0.02 ind./1000 ha. In the adjacent territory in 2013-2017 it was 0.03 ind./1000 ha, varying from 0.01 ind. to 0.11 ind. per 1000 ha (Table 9). In the summer of 2018, wolverine tracks were found on the bank above the mouth of the Otobok River. In July 2021, its scat containing musk deer hair was discovered in the valley forest of the left source of the Tas-Balagan River, on the slope under the roots of a fallen tree (N 55.730°, E 130.759°, No. 5; Fig. 3).

Sable is a common and, perhaps, the most numerous predator in the forest zone of the park (Photo 9). Its average population density in the southern foothills of Tokinsky Stanovik and the north

of the Zeya District is 2.5 ind./1000 ha (Table 9). In 2013, in the territory that is now part of the park, this figure was 0.4 ind./1000 ha. In the optimal biotopes, such as mountain larch forests with dwarf pine and Ezo spruce forests at the source of springs, the numbers can be much higher. However, in the subalpine and alpine zones sable is rare. In the area of the “Zeya – B. Tuksani” (according to observations of 2020-2022) and Tas-Balagan (2021) passes, in the upper reaches of the B. and M. Tuksani Rivers (2009, 2018, 2020, 2022) sable was not that numerous. Scared up into the trees by dogs, they were observed in the middle reaches of the M. Tuksani River (2009) and on the watershed of the B. and M. Tuksani Rivers on the way from Perevalnoye Lake to B. Tuksani (2018). In 2022, sable droppings were found on bank stones in the valley of the right tributary of the Utuk-Makit Spring. This species is the main object of the traditional fur trade of the Evenk communities.

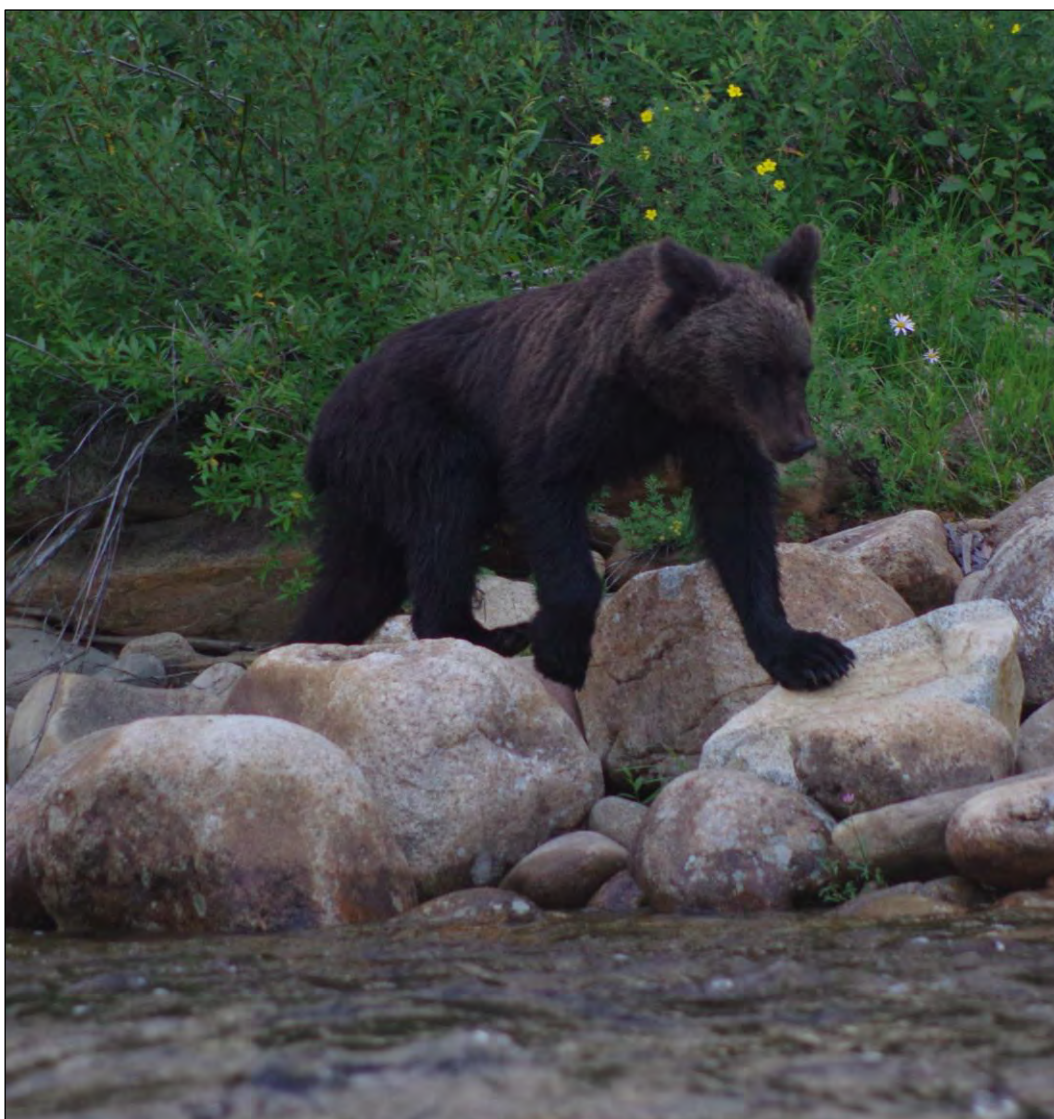


Photo 8. Young brown bear on a river bank (photo by S. Dudov).

Stoat lives throughout the entire territory of the park, but its distribution is extremely uneven: numerous in the high mountains, stoat is rare or not numerous at all in the forest zone. It is the most numerous predator in the high mountains of the central part of Tokinsky Stanovik (Photo 10). Its droppings were found several times in the subalpine zone on rocks near large pika colonies on

the “Zeya – B. Tuksani” and Tas-Balagan passes. In the summer of 2022, on the Tas-Balagan Pass and the adjacent ridges, three visual encounters were registered at a minimal distance. In all cases, the animals were observed near the colonies of pikas. According to transect censuses of 2020-2022, the population density of stoats was 20.0 ind./1000 ha in the subalpine zone and 31.7 ind./1000 ha in the alpine zone (Table 7). In 2013, the average in the park territory was only 0.73 ind./1000 ha.



Photo 9. Sable is the most widespread predator in the high mountains of the forest zone of Tokinsky Stanovik (photo by S.A. Podolskiy).

Common weasel constantly inhabits the Zeya Reserve and the southern regions of Yakutia. We have no information about any reliable finds on the southern macroslope of Tokinsky Stanovik. Its presence in the national park is possible, but is yet to be confirmed.



Photo 10. Stoats are the most numerous predators in the high mountains, usually found on the stone runs near the colonies of pikas (photo by S.A. Podolskiy).

Siberian weasel is rare in the north of the Amur Region due to competitive pressure and direct extermination by sables. It inhabits the territory of the Zeya Reserve. In the 1970s, it was encountered in the upper reaches of the Zeya River all the way up to the mouth of the Okonon River (as reported by N.I. Aboimov). We did not observe weasel on the territory of the park ourselves, but there is a small probability of its visits.

American mink is an introduced species. They were never specifically released in the north of the region, and so they distributed there themselves, escaping from fur farms into nature. It was a widespread phenomenon in the early 1990s, during the rapid collapse of fur farming. By the 2000s, minks had spread widely along the banks of the water bodies of the Zeya Region and began to show up the Zeya Reserve. Mink has not yet been recorded in the Tokinsko-Stanovoy National Park, but its tracks were found in the valley of the Zeya River near the southern border of the protected area, at mouth of the Kara-Urek River (No. 14; Fig. 2). There is no doubt that mink can also move further up into the Zeya River valley, but its habitat in the park still needs to be confirmed.

Otter is a rare species in the north of the region. A single short-term visit of an otter to the territory of the Zeya Reserve was registered. It has not been observed in the national park yet, however, there is a small probability of it entering the upper reaches of the Zeya River.

Wolf is a species with an extremely uneven distribution. It is common in the valley of the Zeya River, including the section of the upper reaches near the mouth of the Sivaktylyak-1 River, as well as near the western borders of the national park, near the Ulak–Elga highway. In the high and middle mountains of the central part of Tokinsky Stanovik, as well as on the Okonon Plateau (Tok-Tuksani Plateau), wolves are not numerous and are found mainly during the snowless period. They enter the territory through the valleys of large rivers and usually leave before the deep snow covers the ground. In 2013-2017 their average population density in the southern foothills of Tokinsky Stanovik and the adjacent territory was 0.05 ind./1000 ha (Table 9).

Wolf's tracks on the sand along the banks were repeatedly seen in the valley of the Zeya River, in the area from the mouth of the Sivaktylyak-1 River to the backwater of the Zeya Reservoir. Their scat with bighorn sheep hair was sporadically found on the ridge of the "Zeya – B. Tuksani" watershed (2020) and in the valley of the upper reaches of the right tributary of the Utuk-Makit Spring (2021). According to the Evenks, wolves and, possibly, wolf-dog hybrids are often encountered near the Ulak–Elga highway, where they actively hunt for domestic reindeer.

Red fox is not a numerous species and is distributed unevenly. It can be encountered in the valley of the Zeya River and much less often in the central part of Tokinsky Stanovik, which it most likely simply visits. In July 2021, fox's tracks and scat were found several times in the subalpine zone near the Tas-Balagan Pass.

Lynx is rare both in the park and the adjacent hunting grounds. In 2013-2017 its average population density in the adjacent territory was 0.04 ind./1000 ha, varying from 0.01 to 0.11 ind. per 1000 ha (Table 9).

In 2018, their tracks were found in the park in the valley of the Tok River near the mouth of the Ulyagir River. We did not find any lynx in the central part of Tokinskiy Stanovik, but, according to surveys of the local reindeer herders, rare and non-annual visits of lynx are quite possible. In 2021, tracks were found in the Zeya River valley below the Lokshak weather station, south of the park borders.

Siberian tiger is listed in the Red Data Book of the Amur Region (2009, 2020) as a rare subspecies that has survived only in Russian territory. It is also listed in the Red Data Book of Russia (2021) and UICN Red List (2023). In recent decades, tiger visits to the north of the Zeya District of the Amur Region have been repeatedly recorded (Kolobaev et al., 2005). Their tracks and the animals themselves were seen in the Zeya Reserve, at the mouth and upper reaches of the Arga River, near the station and Lake Ogoron. Besides, there are reports of tiger sightings directly in the territory that is now part of the national park (Red Data Book of the Amur

Region, 2009). In 1944, the Evenks described a frozen tiger carcass found on the Stanovoy Ridge near the Zeya peak (Chugunkov, 1958). The possibility of rare individual visits of the tiger to the park is beyond doubt, but their permanent habitation there is impossible due to the deep snow cover and insufficient population density of ungulates.

Artiodactyla

Siberian musk deer is currently rare and sporadically distributed. It is common in spruce forests near the rocks (Photo 11), sometimes in larch forests and thickets of dwarf pine, and is rarely found in other biotopes. It is known for significant fluctuations of abundance. In the Zeya Reserve, its population density during peaks and depressions in population numbers differ by a factor of 10 (Podolsky et al., 2006).



Photo 11. Siberian musk deer is a common species in the subalpine Ezo spruce forests, but currently its population density in the national park is minimal (photo by S.A. Podolsky, 07/06/2022, 17:22:26).

Similar phenomena are most likely common for Tokinsky Stanovik as well. In the 1990s and early 2000s, there was a high abundance of musk deer. For example, the scat census of 1993 showed that their population density in the spruce forests of the upper reaches of the Ayumkan River was 4-5 ind./1000 ha. Censuses that took place in 2000 in spruce forests adjacent to Yakutia recorded the maximum density of 15-18 ind./1000 ha (Chevichelov et al., 2010). In 2013, this indicator in the territory of the Tokinsky Reserve was 0.41 ind./1000 ha (Table 9). In 2022, the results of the scat census showed an average density of about 0.1 ind./1000 ha, which indicates a deep depression of the deer population (Table 8).

We noted the Siberian musk deer on Tokinskiy Stanovik in several places: in 1992, numerous heaps of their excrement were found in the spruce forests of the Tas-Balagan River; in 1993, the animals were spotted in the basin of the upper reaches of the Ayumkan River; in 2009 and 2018, there were sightings on the rocky areas of the Tok River canyon. In 2021, we found two spots that the deer used as a toilet and one place used as bed under an overhanging rock in the valley spruce forest of the right source of the Tas-Balagan River. In the valley forest of the left source of the same

river, we found wolverine droppings with the hair of musk deer. In 2022, their scat was discovered on a cliff on the high right bank of the Ulyagir River, 1 km below the mouth of the Neleg River in a larch forest with spruce (No. 515: N 55° 40' 48.9", E 129° 42' 03.4"), as well as in basin of the upper reaches of the B. Tuksani river.

According to our preliminary estimates, in recent years the number of Siberian musk deer in the park has not exceeded 100-150 individuals. More accurate estimates require mapping of their main habitats and specialized population censuses.

Moose is a common rare species and an object of traditional hunting for Evenk reindeer herders. The park is located exactly between ranges of two subspecies, the relatively small Ussuri moose (*A.a. cameloides* Milne-Edwards, 1867; Photo 12) and large East Siberian moose (*A.a. pfizenmayeri* Zukowski, 1910) with spatulous antlers. Therefore, animals with features of both subspecies are encountered there with equal frequency. Moose is a typical species of the foothills and low mountains of Tokinsky Stanovik, but in the high mountains it visits only the subalpine zone where the game trails cross the mountain passes. In July-August 2020 and 2022, single tracks were found in the subalpine zone at the pass between the sources of the Zeya and B. Tuksani Rivers (No. 4; Fig. 3). During winter most of the moose leave the coniform hills, watersheds and vast dwarf birch bogs in the foothills and low mountains. However, wintering moose were seen in the river valleys of middle mountains, such as the Zeya River, in the area from the mouth of the Sivaktylyak-1 River to the mouth of the Kara-Urek River, and in the upper reaches of the Ayumkan, B. Tuksani and Tas-Balagan Rivers. Scat censuses if 1994 showed that in the upper reaches of the Ayumkan River valley, the winter population density of moose reached 3.5 ind./1000 ha; in 2022 in the valley forests of the upper reaches of the B. Tuksani river, it was 1.1 ind./1000 ha. According to winter route census of the 1980s – early 1990s and 2013-2017 (Table 9), their average population density in the north of the Zeya District and in the southern foothills of Tokinsky Stanovik was 0.45 ind./1000 ha. Based on the available data, the total number of moose in the Tokinsko-Stanovoy National Park can be approximately estimated at 120-140 individuals.

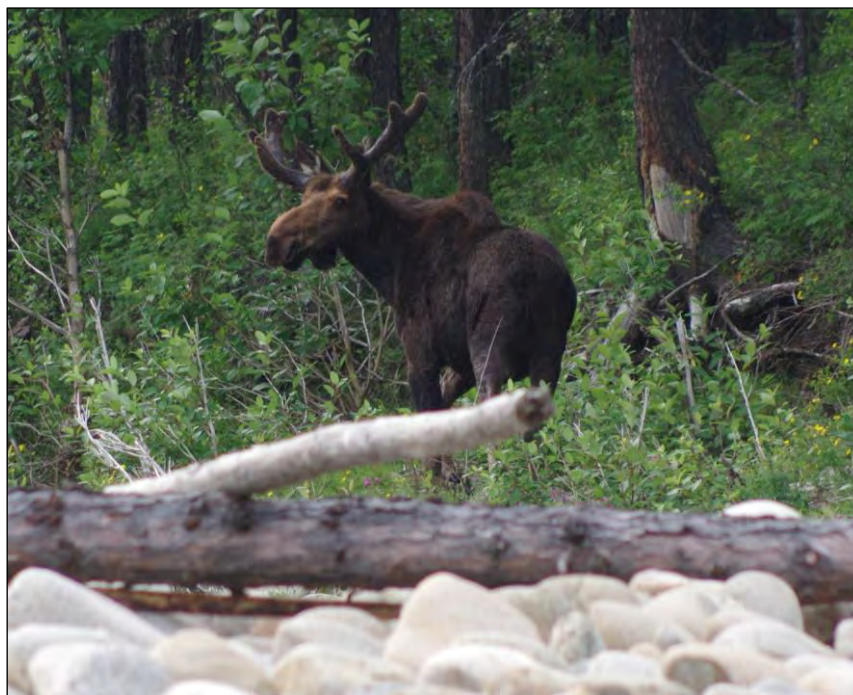


Fig 12. Large male moose of Ussuri subspecies in the upper reaches of the Zeya River (photo by S. Dudov).

Reindeer is a typical inhabitant of river valleys, sparse forests and subalpine zone (Photo 13), but in the alpine zone and mountain taiga it is less common. It is probably the most numerous species of ungulates in the national park, and at the same time it is one of the most important objects of traditional hunting of the Evenk tribal communities. For the reindeer, Tokinsky Stanovik is the main summer habitat.



Photo 13. Male reindeer on a pass between the sources of the Zeya and B. Tuksani Rivers (photo by O. Agni).

In spring, in the western part of the park, most of the reindeer move from Yakutia through the Tokinsky depression to the south, and then proceed along the Tokinsky Stanovik to the west; in autumn, migration goes in the opposite direction. The total number of the “western” group is estimated at about 1000 individuals (Chevichelov et al., 2010).

According to the route censuses of 2020-2022, in the second half of summer, the average population density of the reindeer in the central part of Tokinsky Stanovik was 1.0 ind./1000 ha in the valley forests, 4.8 ind./1000 ha in the open valley biotopes, 2.2 ind./1000 ha in the thickets of Siberian dwarf pine, 4.1 ind./1000 ha in subalpine meadows, and 0.13 ind./1000 ha in the alpine zone (Table 7).

Judging by our observations in 1994, 2009 and 2018, the abundance of reindeer in both the western and eastern parts of Tokinskiy Stanovik was noticeably higher than in its center. In the western part, animals from domestic herds constantly join the population group; in the eastern part (the area of the Ayumkan Town) they actively use the subalpine zone and river valleys, along with the alpine zone. There, in 1994, the density of their population in alpine meadows and mountain tundra reached 5-6 ind./1000 ha. Given these facts, their total number in the park can be tentatively estimated at 400-500 individuals. With a further detailed study of the entire specially protected natural area, these numbers can be refined.

According to surveys (reports of D. Kolesov and P. Safronov), reindeer periodically concentrate during winter and early spring at the source of the Sivakan River, to the south and southwest of the park boundary. In the future, it is advisable to include that site in the buffer zone of specially protected natural areas.

Siberian bighorn sheep is a common inhabitant of the high mountains of the Stanovoy Range. A subspecies called Allen's sheep (*Ovis nivicola alleni* Matchie, 1907) is common on Tokinsky Stanovik and is listed in the Red Data Books of the Amur Region (2009, 2020) and the Republic of Sakha (2003, 2019). In the national park, bighorn sheep inhabit a relatively narrow strip of high mountains 5 to 15-kilometer-wide along the northern border of the Amur Region, stretching from the sources of the Okonon River in the west to the upper reaches of the Ayumkan River in the east (Podolsky et al., 2019). We carried out censuses in 1992, 1993, 2009, 2018 and 2020-2022 (Table 5).

Their distribution throughout the study area is very uneven; the population density in the optimal biotopes of the central part of Tokinsky Stanovik (9.4 ind./1000 ha averagely) is significantly higher than in the western (1.3 ind./1000 ha) and eastern (2.5 ind./1000 ha) ones (Table 5). This is due to the fact that sheep prefer areas with highly dissected relief, maximal heights and rocky areas, and areas with large natural salt licks at the outcrops of volcanic deposits (Photo 14). The area of their high density in the west starts at the sources of the B. Okonon and Oyur Rivers; in the east, it goes through the basin of the sources of the Zeya River up to the mouth of the Tas-Balagan River, as well as the Golets Tas-Balagan mountain massif, with the adjacent section of the right-bank part of the Lucha (Zeyskaya) River basin.



Photo 14. Female Siberian bighorn sheep on a rocky ledge near the natural salt lick (photo by S.A. Podolskiy).

It is also common for the population group from Tokinsky Stanovik to have sharp seasonal changes in the areas with different population density. In spring and early summer, they concentrate near large natural salt licks, where their population density is almost 10 times higher than the background density (Darman, Titova, 2022). In the second half of summer, bighorn sheep are relatively evenly distributed over the territory within their main habitats, although their population

density around salt licks remains approximately twice as high as the background one (Table 10). It is noteworthy that in July some bighorn sheep walk at least 15-20 km away from the main salt licks, which can be considered as seasonal migrations or extended horizontal migrations.

Table 10. Numbers of Siberian bighorn sheep population in the central part of Tokinsky Stanovik at the census sites near the main natural salt lick “Zeya – B.Tuksani” and away from it, collected for 2018 and 2020-2022.

Location relative to the last lick	Area of observations	Year	Number of animals, ind.	ind./10 km ²
First half of summer (June – 1st half of July)				
Sites away from the salt lick	Right banks of the B. Tuskani River sources; area of the “B. Tuskani – Sivaktylyak-1” Pass; area of the Tas-Balagan Pass	2021	41	2.0
Sites near the salt lick	Left source of the B. Tuskani River; right source of the Zeya River; left source of the Sivaktylyak-1 River	2021	292	109.3
Second half of summer (2nd half of July – August)				
Sites away from the salt lick	Right source of the Oyur River; source of the Oyur-Makit River; area of the “B. Tuskani – Sivaktylyak-1” Pass	2018	27	10.4
	Right banks of the B. Tuskani River sources; area of the “B. Tuskani – Sivaktylyak-1” Pass	2020	10	2.4
	Area of the Tas-Balagan Pass	2021	48	9.3
	Right banks of the B. Tuskani River sources; area of the “B. Tuskani – Sivaktylyak-1” Pass; right source of the Oyur River; source of the Oyur-Makit River	2022	22	4.2
	<i>Average (by the years of observations) population density for remote sites</i>			6.6
Sites near the salt lick	Left sources of the B. Tuskani River; right source of the Zeya River; left source of the Sivaktylyak-1 River	2020	48	11.3
	Left sources of the B. Tuskani River; right source of the Zeya River; left source of the Sivaktylyak-1 River	2022	72	20.4
	<i>Average (by the years of observations) population density for sites near the salt lick</i>			15.8

To estimate the abundance of Siberian bighorn sheep in the Tokinsko-Stanovoy National Park, we used data obtained in the second half of summer, when the animals were evenly distributed over the territory. At the same time, we took into account the differences in population density in the

central part and on the periphery. In addition, for the central part, the abundance near large natural salt licks and away from them was estimated separately.

In the territory of the Tokinsko-Stanovoy National Park the area of the main high mountain (open) habitats of the bighorn sheep, such as the alpine and subalpine zones with bald mountains and rocks, the upper sparse part of the Siberian dwarf pine zone, is about 60,000 ha, while the area of secondary habitats, such as dense thickets of dwarf pine on the slopes of the ridges, is about 35,000 ha. The area of increased population density in the central part inside the park, from the sources of the B. Okonon and Oyur Rivers in the west to the Tas-Balagan and the lower reaches of the Lucha River in the east, is about 12,500 ha, of which about 600 ha are the concentration of bighorn sheep near salt licks (Table 10). Abundance indices in the main biotopes of the central part of the southern macroslope of Tokinsky Stanovik in the second half of summer were as follows: the population density in an area of 11,900 ha was 6.6 ind./1000 ha, the number was about 80 ind.; population density in an area of 600 ha was 15.8 ind./1000 ha, the number was about 10 ind. If the average values are used for this site (Table 5), then the abundance is about 90 ind. If the slightly higher values are used, the density is 9.4 ind./1000 ha on an area of 12,500 ha, and the number was 118 ind. This means that the number of Siberian bighorn sheep in the optimal biotopes of the central mountains of the park can be estimated at 90-120 individuals.

To estimate the number of bighorn sheep in the remaining part of the main habitats of the park (47,500 ha), we used the population density index obtained in the area of the Ayumkan town, where it was 2.5 ind./1000 ha (Table 5). According to our calculations, about 120 bighorn sheep live in the eastern and western parts of the high mountains of this specially protected natural area. In addition, sheep were found in small numbers in the thickets of dwarf pine on the slopes of mountain ranges. According to route censuses, their population density in these minor habitats (35,000 ha) does not exceed 0.5 ind./1000 ha, and the number is about 15-20 individuals.

Thus, the total number of bighorn sheep in the Tokinsko-Stanovoy National Park can be approximately estimated at 230-260 animals. The numbers can be refined after a more detailed study of the high mountains of the eastern part of this specially protected natural area.

Data on the age and sex structure of the bighorn sheep population group in the park are shown in Table 6. It is important to note that in 2020, the minimum encounters rate of adult males and a low proportion of young animals were registered. In 2021 and 2022, the occurrence of adult males normalized, but the proportion of young sheep in the population remained highly unstable. Such significant fluctuations may be the consequences of trophy hunting carried out in the years before the national park was established. In 2020, we discovered three camp sites of trophy hunters, visited frequently: two in the watershed area of the Zeya and B. Tuksani Rivers, one on a pass above the middle source of the Sivaktylyak-1 River. According to surveys of the local helicopter pilots, employees of airfields and reindeer herders, for 3-4 years before the creation of the park (2016-2019), adult males of Siberian bighorn sheep were intensively hunted in the central part of Tokinsky Stanovik by several teams of hunters who would come in by helicopters. According to pilots, the shooting often carried out directly from the helicopters.

Since 2020, during the snowless periods, employees of the Zeya Reserve stay vigilant in the zone of increased numbers of bighorn sheep near the most important salt licks, and a significant part of the high mountains is constantly patrolled. According to the information we received, in 2020-2022 trophy hunting on the "Zeya – B. Tuksani", "B. Tuksani – Sivaktylyak-1" and Tas-Balagan passes stopped, which significantly helped to start the normalization process of the sex and age structure of the local bighorn population.

Aside from poachers, Siberian bighorn sheep are threatened by large predators. In spring, newborn lambs are actively hunted by brown bears (according to the reports of N.I. Aboimov and P. Safronov). In the bear's scat, collected in early July 2021 (n = 9), the hair of bighorn sheep was encountered in 2 cases, which is 22.2% from total. Observations of 3 bears also showed that they

actively explore the paths used by bighorn sheep in the high mountains and try to hunt them on salt licks. During the snowless periods, bighorn sheep sometimes fall prey to wolves and wolverines. We found wolf's scat with sheep hair on the crest of a ridge of the "Zeya – B. Tuksani" Pass. The underyearlings can be hunted by golden eagles, the fact of which was repeatedly observed in the high mountains. On the Tas-Balagan Pass, the remains of an adult male and female, probably crashed by an avalanche, were found.

Conclusions

A system for zoological monitoring was created in the Tokinsko-Stanovoy National Park and the adjacent territory, including 15 sites for recording the relative abundance of small mammals (Fig. 2), and 5 sites for observing Siberian bighorn sheep and other large animals (Fig. 3). All zoological observations that were carried out there have an individual biotopic reference according to the list of the main types of habitats (Table 1). Over the years of monitoring (1992, 1993, 2009, 2018 and 2020-2022) we managed to perform most of the census of the local theriofauna, find out the population numbers, and biotopic, spatial and seasonal distributions of many mammal species. We also found the most important directions for further improvement of protection of the animal populations and monitoring optimization.

We were able to clarify that 27 species of mammals inhabit the study territory, such as Laxmann's shrew, Siberian large-toothed shrew, even-toothed shrew, Eurasian least shrew, Eastern water bat, mountain hare, northern pika, Siberian flying squirrel, red squirrel, Siberian chipmunk, Korean field mouse, lemming vole, northern red-backed vole, grey red-backed vole, wood lemming, Gromov's vole, wolf, red fox, brown bear, wolverine, sable, stoat, Eurasian lynx, Siberian musk deer, moose, reindeer and Siberian bighorn sheep. Black-capped marmot and American mink were encountered near the boundaries of the specially protected natural areas, meaning that they are very likely to be found in the park as well. According to the literature sources and/or surveys, such animals as tundra vole, Amur lemming, common weasel, Siberian weasel and otter might also live near the park boundaries. Therefore, we cannot exclude the possibility of finding these species within the protected natural areas. In addition, the Red Data Book of the Amur Region (2009) contains information on the Siberian tiger that was spotted in the territory of the park. Its permanent habitation is impossible within the park borders, but there is no doubt that the tiger visits it sometimes.

Thus, according to our data, the theriofauna of the Tokinsko-Stanovoy National Park includes 27-35 species from 6 orders and 14 families (Table 2). This list can be expanded mainly with *Chiroptera* and *Eulipotyphla*, as well as those species that have been found near the boundaries of the park.

The optimal period for the main zoological observations during the snowless period, which was established during this research, should last from mid-July to August inclusive. During this period, it is necessary to conduct an annual census of Siberian bighorn sheep that are evenly distributed over open areas of high mountains, and small mammals that actively grow in numbers in the second half of their breeding season. It is advisable to observe the bighorn sheep on the main natural solonetztes once every 2-3 years in June, and to expand the existing network of census transects and sites to the east, into the basins of the Lucha (Zeykaya) and Ayumkan River.

The results of our observations showed that protective measures in the territory of the national park have already yielded some results. For example, the intensive and illegal hunting for bighorn sheep was banned in the central part of Toko-Stanovik, and the sex and age structure of the bighorn group began to stabilize. In order to increase the reliability of the specially protected natural areas and to continue studies of the animal population, it is necessary to create a buffer zone along the territory perimeter and expand the patrols and observations to the eastern part of the area.

Acknowledgment. We thank the management of the Zeya State Nature Reserve for the valuable help in organizing the expeditions and transportation.

Funding. This research was carried out as part of the State Assignment No. FMWZ-2022-0002 for the Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences “Research of Geocological Processes in Hydrological Land Systems, Formation of the Surface and Ground Water Quality, Problems of Water Resources Management and Water Use under Conditions of Climate Change and Anthropogenic Impact”, as well as part of the State Assignment No. 051-00007-22-00 for Zeya State Nature Reserve “Dynamics of Phenomena and Processes in the Ecosystems of the Zeya Reserve and the Tokinsko-Stanovoy National Park”.

REFERENCES

1. Borisova IG, Stupnikova TV, Pavlova KP, Dudov SV, Podolsky SA. The Tokinsky Reserve: a physical and geographical essay [*Zakaznik “Tokinsky”: fiziko-geograficheskiy ocherk*] *Biota and environment of the reserves of the Far East [Biota i sreda zapovednikov Dal'nego Vostoka]*. 2020;2:103-120.
2. Botvinkin AD. Bats in the Baikal region (biology, methods of observation, protection) [*Letuchiye myshi v Pribaykal'ye (biologiya, metody nablyudeniya, okhrana)*]. Irkutsk: Vremya stranstviy, 2002:208.
3. Voronov AG. Biogeography [*Biogeografiya*]. Moscow: Izd-vo MGU, 1963:338.
4. Gotvansky VI, Podolsky SA. Land of edelweiss and bighorns [Kray edel'veysov i tolstorogov] *Nature*. 2000;4:37-45.
5. Darman YuA. Mammals [*Mlekoпитayushchiye*] *Current state of the animal world. The state of the natural environment of the possible zone of influence of the hydroelectric facilities cascade on the Bureya river, and the forecast of its changes [Sovremennoye sostoyaniye zhivotnogo mira. Sostoyaniye prirodnoy sredy zony vozmozhnogo vliyaniya kaskada gidrouzlov na r. Bureye i prognoz yeye izmeneniy]* Section 5. *Terrestrial Ecosystem (Interim Report)* [Razdel 5. *Nazemnaya ekosistema (promezhutochnyy otchet)*]. Blagoveshchensk: Amur NTS DVO RAN, 1994:76-89.
6. Darman YuA. Development of a network of protected natural areas [*Razvitiye seti prirodookhrannykh territoriy*] *Nature reserve management under new socio-economic conditions [Zapovednoye delo v novykh sotsial'no-ekonomicheskikh usloviyakh]* Abstracts of reports of the international meeting, Saint-Petersburg, April 24-27, 1995 [Tezisy dokladov mezhdunarodnogo soveshchaniya]. Saint-Petersburg: Izd-vo RAN, 1995:47-51.
7. Darman YuA, Titova SI. Population characteristics

REFERENCES

1. Борисова И.Г., Ступникова Т.В., Павлова К.П., Дудов С.В., Подольский С.А. 2020. Заказник «Токинский»: физико-географический очерк // Биота и среда заповедников Дальнего Востока. № 2. С. 103-120.
2. Ботвинкин А.Д. 2002. Летучие мыши в Прибайкалье (биология, методы наблюдения, охрана). Иркутск: Время странствий. 208 с.
3. Воронов А.Г. 1963. Биogeография. М.: Изд-во МГУ. 338 с.
4. Готванский В.И., Подольский С.А. 2000. Край эдельвейсов и толсторогов // Природа. № 4. С. 37-45.
5. Дарман Ю.А. 1994. Млекопитающие // Современное состояние животного мира. Состояние природной среды зоны возможного влияния каскада гидроузлов на р. Бурее и прогноз ее изменений. Раздел 5. Наземная экосистема (промежуточный отчет). Благовещенск: Амур НЦ ДВО РАН. С. 76-89.
6. Дарман Ю.А. 1995. Развитие сети природоохранных территорий // Заповедное дело в новых социально-экономических условиях. Тезисы докладов международного совещания. Санкт-Петербург, 24-27 апреля 1995 г. СПб.: Изд-во РАН. С. 47-51.
7. Дарман Ю.А., Титова С.И. 2022. Популяционные характеристики Туксани-Сивактылякской груп-

- of the Tuksani-Sivaktylyak group of Siberina bighorn sheep (*Ovis nivicola*) [*Populyatsionnyye kharakteristiki Tuksani-Sivaktylyakskoy gruppirovki snezhnogo barana (Ovis nivicola)*] *Actual problems of zoogeography and biodiversity of the Russian Far East [Aktual'nyye problemy zoogeografii i bioraznoobraziya Dal'nego Vostoka Rossii] Proc. of the All-Russian Symposium dedicated to the 150th anniversary of the birth of V.K. Arsenyeva, Khabarovsk, March 29-31, 2022 [Materialy Vserossiyskogo simpoziuma, posvyashchennogo 150-letiyu so dnya rozhdeniya V.K. Arsen'yeva]* / ed. V.V. Rozhnov. Khabarovsk: BF "Biosfera", 2022:72-77.
8. Dokuchaev NE, Sheremetyeva IN. Identity of meadow voles (Cricetidae, Rodentia) from Bolshoi Shantar Island (Sea of Okhotsk) and Gromov's vole (*Alexandromys gromovi* Vorontsov et al., 1988) [Ob identichnosti serykh polovok (Cricetidae, Rodentia) ostrova Bol'shoy Shantar (Okhotskoye more) i polovki Gromova (*Alexandromys gromovi* Vorontsov et al., 1988)] *Zoological Journal*. 2017;96 (11):1425-1430.
 9. Dorogostaisky VCh. Preliminary report on the trip to Yablonovy Ridge for the Imperial Academy of Sciences that took place in 1914 [Predvaritel'nyy otchet o poyezdke v Yablonovy khrebet, sovershennoy po porucheniyu Imperatorskoy Akademii Nauk v 1914 g.] *News of the Imperial Academy of Sciences [Izvestiya Imperatorskoy Akademii Nauk]*. VI series [VI seriya]. 1915;15:401-420.
 10. Zheleznov-Chukotsky NK. Ecology of Siberian bighorn sheep in North Asia [*Ekologiya snezhnykh baranov Severnoy Azii*]. Moscow: Nauka, 1994:256.
 11. Ignatenko EV, Pavlova KP. Pitfall traps to help with accounting the ground animals and insectivores [*Ispol'zovaniye pochvennykh lovushek Barbera dlya ucheta pedobiontov i nasekomoyadnykh*] *Proc. of the International Scientific and Practical Conference "Protection and Scientific Research in Specially Protected Natural Territories of the Far East and Siberia", dedicated to the 25th anniversary of the Bureinsky Reserve [Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Okhrana i nauchnyye issledovaniya na osobo okhranyayemykh prirodnykh territoriyakh Dal'nego Vostoka i Sibiri", posvyashchennaya 25-letiyu organizatsii Bureinskogo zapovednika]*. Khabarovsk, 2012:49-51.
 - пировки снежного барана (*Ovis nivicola*) // *Актуальные проблемы зоогеографии и биоразнообразия Дальнего Востока России: Материалы Всероссийского симпозиума, посвященного 150-летию со дня рождения В.К. Арсеньева, Хабаровск, 29-31 марта 2022 г.* / Ред. В.В. Рожнов. Хабаровск: БФ «Биосфера». С. 72-77.
 8. Докучаев Н.Е., Шереметьева И.Н. 2017. Об идентичности серых полёвок (Cricetidae, Rodentia) острова Большой Шантар (Охотское море) и полёвки Громова (*Alexandromys gromovi* Vorontsov et al. 1988) // *Зоологический журнал*. № 96 (11). С. 1425-1430.
 9. Дорогостайский В.Ч. 1915. Предварительный отчет о поездке в Яблоновый хребет, совершенной по поручению Императорской Академии Наук в 1914 г. // *Известия Императорской Академии Наук*. VI серия. № 15. С. 401-420.
 10. Железнов-Чукотский Н.К. 1994. *Экология снежных баранов Северной Азии*. М.: Наука. 256 с.
 11. Игнатенко Е.В., Павлова К.П. 2012. Использование почвенных ловушек Барбера для учета педобионтов и насекомоядных // *Материалы Международной научно-практической конференции «Охрана и научные исследования на особо охраняемых природных территориях Дальнего Востока и Сибири», посвященная 25-летию организации Буреинского заповедника*. Хабаровск. С. 49-51.
 12. Карасева Е.В., Телицына А.Ю., Жигальский О.А. 2008. *Методы изучения грызунов в полевых условиях*. М.: Изд-во ЛКИ. 416 с.
 13. Колобаев Н.Н., Красикова Е.К.,

12. Karaseva EV, Telitsyna AYu, Zhigalsky OA. Methods for field studies of rodents [*Metody izucheniya gryzunov v polevykh usloviyakh*]. Moscow: Izd-vo LKI, 2008:416.
13. Kolobaev NN, Krasikova EK, Nikolaev IG, Kozlov SG. Amur tiger in the Amur region [*Amurskiy tigr v Amurskoy oblasti*] *Bulletin of the Moscow Society of Naturalists [Byulleten' MOIP] Department of biology [Otdel biologicheskoy]*. 2005;110 (6):3-11.
14. Red Data Book of the Amur Region [*Krasnaya kniga Amurskoy oblasti*] *Rare and endangered species of animals, plants and fungi [Redkiye i nakhodyashchiesya pod ugrozoy ischeznoeniya vidy zhivotnykh, rasteniy i gribov]*. Blagoveshchensk: Izd-vo BGPU, 2009:159-160.
15. Red Data Book of the Amur Region [*Krasnaya kniga Amurskoy oblasti*] *Rare and endangered species of animals, plants and fungi [Redkiye i nakhodyashchiesya pod ugrozoy ischeznoeniya vidy zhivotnykh, rasteniy i gribov]*. 2nd ed., corrected, revised and suppl. Blagoveshchensk: Izd-vo Dal'nevostochnogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2020:186-187.
16. Red Data Book of the Republic of Sakha (Yakutia) [*Krasnaya kniga Respubliki Sakha (Yakutiya)*] *Rare and endangered animal species (insects, fish, amphibians, reptiles, birds, mammals) [Redkiye i nakhodyashchiesya pod ugrozoy ischeznoeniya vidy zhivotnykh (nasekomye, ryby, zemnovodnyye, presmykayushchiesya, ptitsy, mlekopitayushchiye)]*. Yakutsk: GUP NIPK "Sakhapoligrafizdat", 2003;2:208.
17. Red Data Book of the Republic of Sakha (Yakutia) [*Krasnaya kniga Respubliki Sakha (Yakutiya)*] *Rare and endangered animal species [Redkiye i nakhodyashchiesya pod ugrozoy ischeznoeniya vidy zhivotnykh]* / ed. N.N. Vinokurov. Moscow: Nauka, 2019;2:270.
18. Red Data Book of Russia: legal acts [*Krasnaya kniga Rossii: pravovyye akty*]. Moscow. 2000:134.
19. Red Data Book of the Russian Federation [*Krasnaya kniga Rossiyskoy federatsii*] *Animals [Zhivotnyye]*. 2nd ed. Moscow: VNIIEK Ekologiya, 2021:1128.
20. Krusko SV. Methods for studying bats [*Metody izucheniya rukokrylykh*] *Bats of the Russian Far East and their ectoparasites [Rukokrylyye Dal'nego Vostoka Rossii i ikh ektoparazity]*. Moscow: Pero, 2021:24-55.
21. Kurentsov AI. Zoogeography of the Amur Region *Николаев И.Г., Козлов С.Г.* 2005. Амурский тигр в Амурской области // Бюллетень МОИП. Отдел биологический. Т. 110. Вып. 6. С. 3-11.
22. Красная книга Амурской области. 2009. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных, растений и грибов. Благовещенск: Изд-во БГПУ. С. 159-160.
23. Красная книга Амурской области. 2020. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных, растений и грибов. 2-е изд. испр., перераб. и доп. Благовещенск: Изд-во Дальневосточного государственного аграрного университета. С. 186-187.
24. Красная книга Республики Саха (Якутия). 2003. Т. 2: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных (насекомые, рыбы, земноводные, пресмыкающиеся, птицы, млекопитающие). Якутск: ГУП НИПК «Сахаполиграфиздат». 208 с.
25. Красная книга Республики Саха (Якутия). 2019. Т. 2: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных / Ред. Н.Н. Винокуров. М.: Наука. 270 с.
26. Красная книга России: правовые акты. 2000. М. 134 с.
27. Красная книга Российской Федерации. Т. Животные. 2021. 2-е изд. М.: ВНИИ Экология. 1128 с.
28. *Krusko S.V.* 2021. Методы изучения рукокрылых // Рукокрылые Дальнего Востока России и их эктопаразиты. М.: Pero. С. 24-55.
29. *Куренцов А.И.* 1965. Зоогеография Приамурья. М.-Л.: Наука. 155 с.
30. *Лисовский А.А., Шефтель Б.И., Савельев А.П., Ермаков О.А.,*

- [*Zoogeografiya Priamur'ya*]. Moscow-Leningrad: Nauka, 1965:155.
22. Lisovsky AA, Sheffel BI, Saveliev AP, Ermakov OA, Kozlov YuA, Smirnov DG, Stakheev VV, Glazov DM. Mammals of Russia: list of species and additional aspects [*Mlekovpitayushchiye Rossii: spisok vidov i prikladnyye aspekty*] *Collection of works of the Zoological Museum of Moscow State University [Sbornik trudov zoologicheskogo muzeya MGU]*. Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2019;56:191.
 23. Terrestrial mammals of the Far East of the USSR [*Nazemnyye mlekovpitayushchiye Dal'nego Vostoka SSSR*] *Identification guide [Opredelitel']*. Moscow: Nauka, 1984:356.
 24. Podolsky SA, Krasikova EK, Chervova VA, Kastrikin VA. Siberian musk deer in the influence zone of the Zeya reservoir: natural climatic and anthropogenic factors of population dynamics and spatial distribution [*Kabarga v zone vliyaniya Zeyskogo vodokhranilishcha: yestestvennyye klimaticheskkiye i antropogennyye faktory dinamiki chislennosti i prostranstvennogo raspredeleniya*]. *Biogeography*. 2006;13:74-87.
 25. Podolsky SA, Ignatenko SYu, Krasikova EK. Tokinsko-Stanovoy National Park: history and issues of its creation [*Natsional'nyy park "Tokinsko-Stanovoy": istoriya i problemy sozdaniya*]. *Biota and Environment of the Natural Reserves of the Far East [Biota i sreda zapovednikov Dal'nego Vostoka]*. 2020;2:121-139.
 26. Podolsky SA, Domanov TA, Kastrikin VA. First results of research and protection prospects of Siberian bighorn sheep *Ovis nivikola alleni* Matschie, 1907 in the Amur Region [*Pervyye rezul'taty issledovaniy i perspektivy okhrany snezhnykh baranov Ovis nivikola alleni Matschie, 1907 v Amurskoy oblasti*]. *Amur Zoological Journal*. 2019;XI (2):173-184.
 27. Revin YuA. Mammals of South Yakutia [*Mlekovpitayushchiye Yuzhnoy Yakutii*]. Novosibirsk: Nauka, 1989:321.
 28. Revin YuA, Popov AL. New data on the species diversity and mammals distribution in South Yakutia [*Novyye dannyye o vidovom raznoobrazii i rasprostraneni mlekovpitayushchikh v Yuzhnoy Yakutii*] *Zoogeographic and ecological studies of Yakutian theriofauna [Zoogeograficheskkiye i*
 - Kozlov Yu.A., Smirnov D.G., Stakheev V.V., Glazov D.M.* 2019. Млекопитающие России: список видов и прикладные аспекты. Сборник трудов зоологического музея МГУ. Т. 56. М.: Товарищество научных изданий КМК. 191 с.
 23. Наземные млекопитающие Дальнего Востока СССР. 1984. Определитель. М.: Наука. 356 с.
 24. Подольский С.А., Красикова Е.К., Червова В.А., Кастрикин В.А. 2006. Кабарга в зоне влияния Зейского водохранилища: естественные климатические и антропогенные факторы динамики численности и пространственного распределения // Биogeография. Вып. 13. С. 74-87.
 25. Подольский С.А., Игнатенко С.Ю., Красикова Е.К. 2020. Национальный парк «Токинско-Становой»: история и проблемы создания // Биота и среда заповедников Дальнего Востока. № 2. С. 121-139.
 26. Подольский С.А., Доманов Т.А., Кастрикин В.А. 2019. Первые результаты исследований и перспективы охраны снежных баранов *Ovis nivikola alleni* Matschie, 1907 в Амурской области // Амурский зоологический журнал. Т. XI. № 2. С. 173-184.
 27. Ревин Ю.А. 1989. Млекопитающие Южной Якутии. Новосибирск: Наука. 321 с.
 28. Ревин Ю.А., Попов А.Л. 1988. Новые данные о видовом разнообразии и распространении млекопитающих в Южной Якутии // Зоогеографические и экологические исследования териофауны Якутии. С. 24-38.
 29. Сорокина Л.И. 1977. Учет копытных // Охота и охотничье хозяйство. № 2. С. 38-39.
 30. Чевычелов А.П., Кузнецова Л.В.,

- ekologicheskoye issledovaniya teriofauny Yakutii*. 1988:24-38.
29. Sorokina LI. Census of ungulates [Uchet kopytnykh]. *Hunting and Game Husbandry [Okhota i okhotnich'ye khozyaystvo]*. 1977;2:38-39.
30. Chevychelov AP, Kuznetsova LV, Isaev AP et al. Biodiversity of the landscapes of the Tokinsky Basin and the Tokinsky Stanovik Ridge [*Bioraznoobraziye landshaftov Tokinskoy kotloviny i khrebt Tokinsky Stanovik*] / ed. B.I. Ivanov. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2010:284.
31. Chugunkov D. Tigers in the upper reaches of the Zeya River [Tigry v verkhov'yakh Zei]. *Amur Truth [Amurskaya pravda]*. Blagoveshchensk, 1958;19 April:2.
32. IUCN Red List. 2023, Available at <https://www.iucnredlist.org/> (Date of Access 06/01/2023).
- Исаев А.П. и др. 2010. Биоразнообразие ландшафтов Токинской котловины и хребта Токинский Становик / Ред. Б.И. Иванов. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 284 с.
31. Чугунков Д. 1958. Тигры в верховьях Зеи // Амурская правда. 19 апреля. Благовещенск. С. 2.
32. IUCN Red List. 2023 [Электронный ресурс <https://www.iucnredlist.org/> (дата обращения 06.01.2023)].

УДК 599; 502,743; 502,45

МЛЕКОПИТАЮЩИЕ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ТОКИНСКО-СТАНОВОЙ»

© 2023 г. С.А. Подольский**, Ю.А. Дарман***, А.А. Кадетова****, В.А. Кастрикин*****, К.П. Павлова**, Т.А. Доманов**

*Институт водных проблем РАН

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

**ФГБУ «Зейский государственный природный заповедник»

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

***Амурский филиал WWF России

Россия, 690003, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д. 18а. E-mail: ydarman@wwf.ru

****Московский зоопарк

Россия, 123242, г. Москва, ул. Б. Грузинская, д. 1. E-mail: asfedlynxx@mail.ru

*****ФГБУ «Хинганский государственный природный заповедник»

Россия, 676740, Амурская обл., рп. Архара, пер. Дорожный, д. 6. E-mail: office@khingan.ru

Поступила в редакцию 18.01.2023. После доработки 06.02.2023. Принята к публикации 01.03.2023.

Национальный парк «Токинско-Становой», учрежденный в конце 2019 г, имеет площадь около 253 тыс. га. Он находится на севере Амурской области - на стыке ее границ с Республикой Саха (Якутия) и Хабаровским краем. Первое зоологическое обследование этой территории было проведено экспедицией В.Ч. Дорогостайского в 1914 году. В статье приводятся основные сведения о фауне и населении млекопитающих полученные в течение семи летне-осенних сезонов: 1992, 1993, 2009, 2018, 2020-2022 гг. Экспедиции 2009, 2018, 2020-2022 гг. были организованы и проведены Зейским государственным заповедником при участии экологов из следующих организаций: Института водных проблем (ИВП РАН), Хинганского заповедника, Амурского филиала WWF России, Московского зоопарка, Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова.

Непосредственно на территории национального парка удалось подтвердить обитание 27 видов млекопитающих: средняя бурузубка, крупнорылая бурузубка, равнозубая бурузубка, крошечная бурузубка, восточная ночница, заяц-беляк, северная пищуха, летяга, обыкновенная белка,

азиатский бурундук, восточноазиатская мышь, лемминговидная полевка, красная полевка, красносерая полевка, лесной лемминг, полевка Громова (шантарская), волк, лисица, бурый медведь, россомаха, соболь, горностай, рысь, кабарга, лось, дикий северный олень, снежный баран. Черношапочный сурок и американская норка отмечались в непосредственной близости от границ ООПТ, их обнаружение в национальном парке весьма вероятно. По литературным и/или опросным данным вблизи границ парка могут также обитать: полевка-экономка, амурский лемминг, ласка, колонок, выдра, возможны редкие заходы амурского тигра. Таким образом, териофауна Токинско-Станового национального парка включает от 27 до 35 видов из 6 отрядов и 14 семейств. При дальнейшем изучении список отмеченных видов зверей может быть расширен за счет рукокрылых и насекомоядных.

В национальном парке и на сопредельной территории создана система зоологического мониторинга, основу которой составляют 15 участков учета относительной численности мелких млекопитающих, а также 5 участков наблюдений за снежными баранами и другими крупными зверями. Благодаря этому удалось не только провести основной объем работ по инвентаризации териофауны, но также получить представления о показателях численности, биотопическом, пространственном и сезонном распределении многих видов млекопитающих. Получены первые оценки работы ООПТ, намечены важнейшие направления улучшения охраны животного населения и оптимизации мониторинга. Установлено, что меры по охране территории национального парка уже дают ощутимые результаты: в центральной части Токинского Становика прекратилась интенсивная незаконная охота на снежного барана, началась нормализация половозрастной структуры группировки толсторогов. Для повышения надежности обеспечения режима ООПТ и дальнейшего изучения животного населения необходимо создать охранную зону по ее периметру, а также распространить экспедиционное патрулирование и зоологические наблюдения на восточную часть национального парка.

Ключевые слова: Становой хребет – Токинский Становик, национальный парк, млекопитающие, фауна, животное население, численность, плотность населения, зоологический мониторинг, охрана.

Благодарности. Авторы благодарят администрацию Зейского государственного заповедника за неоценимую помощь в организации экспедиционных исследований и транспортного обеспечения.

Финансирование. Исследования выполнены 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», а также в рамках Государственного задания ФГБУ «Зейский государственный природный заповедник» № 051-00007-22-00 «Динамика явлений и процессов в экосистемах Зейского заповедника и национального парка «Токинско-Становой»».

DOI: 10.24412/2542-2006-2023-1-162-204

EDN: HMGFQG