

УДК [598.321:591.526](470.44-12)

**АНАЛИЗ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА
ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ ДЛЯ ОЦЕНКИ СВЯЗИ
С МЕСТООБИТАНИЯМИ ЖАВОРОНКОВ (ALAUDIDAE, AVES)
В ЗАВОЛЖСКОЙ ПОЛУПУСТЫНЕ**

**М. Л. Опарин¹, Ю. Д. Нухимовская², М. В. Конюшкова^{3,4},
Л. С. Трофимова⁵, О. С. Опарина¹, А. Б. Мамаев¹, И. А. Трофимов⁵**

¹ *Саратовский филиал Института проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН
Россия, 410028, Саратов, Рабочая, 24*

² *Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН
Россия, 119071, Москва, Ленинский просп., 33*

³ *Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, 1*

⁴ *Почвенный институт им. В. В. Докучаева*

Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер., 7, корп. 2

⁵ *Всероссийский научно-исследовательский институт кормов имени В. Р. Вильямса РАН
Россия, 141055, Московской обл., Лобня, Научный городок
E-mail: oparinml@mail.ru*

Поступила в редакцию 11.07.17 г.

Анализ почвенно-растительного покрова по космическим снимкам для оценки связи с местообитаниями жаворонков (Alaudidae, Aves) в заволжской полупустыне. – Опарин М. Л., Нухимовская Ю. Д., Конюшкова М. В., Трофимова Л. С., Опарина О. С., Мамаев А. Б., Трофимов И. А. – Работа проводилась в Джанибекском и Бокейординском районах Западно-Казакстанской области республики Казахстан на двух ключевых участках. В работе оценивалась возможность изучения связи распределения численности различных видов жаворонков с гнездовыми местообитаниями, дешифрированными с использованием космоснимков высокого разрешения, наземных геоботанических описаний и учетов птиц на маршрутах с переменной шириной учетной полосы. Анализ неоднородности изображения на снимке выполнялся с помощью кластерного анализа в программе ILWIS (алгоритм Heckbert quantization) с использованием трех растров в качестве переменных: снимки в инфракрасном и красном каналах и NDVI. Связь численности отдельных видов жаворонков с долей отдельных растительных ассоциаций в полосе учетных маршрутов устанавливалась с помощью корреляционного анализа и аппроксимации эмпирических распределений теоретическими. Установлена достоверная связь распределения трех видов жаворонков, обитающих в заволжской полупустыне Прикаспийской низменности, с определенными растительными ассоциациями, которые они предпочитают использовать в качестве гнездовых станций.

Ключевые слова: жаворонки, учеты численности, геоботаническое описание, детальные многозональные космоснимки, полупустыня.

Analysis of soil and vegetation cover from satellite imagery to assess its relation with lark habitats (Alaudidae, Aves) in the Trans-Volga semi-desert. – Oparin M. L., Nukhimovskaya Yu. D., Konyushkova M. V., Trofimova L. S., Oparina O. S., Mamayev A. B., and Trofimov I. A. – The work was carried out in the Dzhanibek and Bokeyorda districts of the West Kazakhstan region of the Republic of Kazakhstan in two key areas. The possibility to study the relationship between the distribution of the abundance of various lark species and their nesting habitats

detected using high-resolution satellite images, ground geobotanical descriptions and bird counts on routes with a variable width of the accounting band, was evaluated. The image heterogeneity in a snapshot was analyzed by cluster analysis in the ILWIS software (Heckbert quantization algorithm) using three rasters as variables: infrared and red channel images and NDVI. The correlation of the number of individual lark species with the fraction of individual plant associations in the band of accounting routes was established using correlation analysis and approximation of empirical distributions by theoretical ones. A reliable relationship was established between the distribution of three lark species living in the Trans-Volga semi-desert of the Caspian lowland with certain plant associations which they prefer to use as nesting stations.

Key words: Alaudidae, population counts, geobotanical description, detailed multizonal space images, semi-desert.

DOI: 10.18500/1684-7318-2017-4-369-381

ВВЕДЕНИЕ

Данные дистанционного зондирования широко применяются во многих научных областях: географии, океанографии, гидрологии, геологии, при изучении природных ресурсов отдельных регионов, стран и Земли в целом, картировании земной поверхности, контроле окружающей среды. Некоторые специалисты используют космоснимки среднего разрешения Landsat-7 для дифференциации местообитаний охотничьих млекопитающих и птиц (Данилов, 2011; Добрынин, 2011 *а, б*; Елсаков, 2011). В зоологических исследованиях космические и/или аэроснимки высокого разрешения также используются, в частности, для исследования распространения животных, оставляющих на местности заметные следы своего пребывания: бобров, наземных беличьих, северного оленя и др. (Алейников, 2011; Гершензон и др., 2011; Елсаков, 2011; Колесников и др., 2011). Намного меньше работ, в которых снимки используются специалистами по животным, не оставляющим видимых следов своего пребывания (Куликова, Покровский, 2011; Дистанционные..., 2011). К одной из таких работ относится наше исследование, которое посвящено дистанционной оценке площадей местообитаний различных видов жаворонков, которые обусловлены, в первую очередь, различиями в почвенно-растительном покрове, и поиску статистических зависимостей между количеством особей отдельных видов птиц и соотношением этих площадей. Так, например, степной жаворонк предпочитает растительные ассоциации с высоким проективным покрытием, а серый жаворонк – с низким.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Район исследований расположен на северо-западе заволжской части Прикаспийской низменности, в пределах двух природно-геоморфологических районов: 1) бессточной суглинистой Джаныбекской полупустынной равнины; 2) Аралсорской озёрно-солончаковой депрессии. Эти территории характеризуются пёстрым почвенным покровом и выраженным мезо- и микрорельефом. Элементы мезорельефа – большие плоские лиманы глубиной до 2 м, площадью иногда больше 1000 га, и плоские понижения – падины глубиной до 1 м и площадью от 2 – 3 до 200 га. Лиманы заняты корневищно-злаковой растительностью на лугово-каштановых оглеенных почвах и солодах, так как они иногда затапливаются талы-

ми весенними водами. В падинах развита злаково-разнотравная растительность степного типа на лугово-каштановых почвах. Остальная территория района имеет комплексный почвенно-растительный покров, разности которого имеют размеры от единиц до нескольких десятков метров и представлены солонцовыми почвами с чернопопынно-солянковыми растительными ассоциациями и разновидностями каштановых почв с типчakovыми, житняковыми, пижмовыми, острцовыми и злаково-разнотравными растительными ассоциациями.

Ранее в наших работах охарактеризовано распределение жаворонков по местообитаниям в прикаспийской полупустыне Заволжья на основе маршрутных учетов в гнездовой период и среднемасштабных карт растительности и почв, а также наземных геоботанических описаний (Опарин и др., 2013, 2014, 2015).

Настоящие исследования выполнены на двух ключевых участках: Борси, расположенном на бессточной суглинистой Джаныбекской полупустынной равнине, в Джаныбекском районе Западно-Казахстанской области Республики Казахстан, и Арал-сор в Арал-сорской озёрно-солончаковой депрессии в Бокейординском районе той же области Казахстана.

Изучение распределения гнездовых пар жаворонков по местообитаниям с привлечением данных дистанционного зондирования (ДДЗ) проведено в период с 2014 по 2017 г. В эти годы с середины мая по начало июня выполнены пешие учётные маршруты, на которых встречены 4 вида жаворонков (*Alauda arvensis*, *Melanocorypha calandra*, *M. leucoptera*, *Calandrella rufescens*). Учётные маршруты были фиксированы в пространстве при помощи GPS навигаторов, ежегодно обследовали одни и те же трансекты. Плотность распределения поющих самцов, а по ним и ориентировочное количество гнездящихся пар определяли маршрутным методом с переменной шириной учётной полосы (Равкин, Челинцев 1990; Бибби и др., 2000) в сезон гнездования воробьиных птиц. Учёты жаворонков осуществляли в утренние и предзакатные часы. Регистрировали поющих самцов и их видовую принадлежность. Длина каждого маршрута около 1000 м, причем расстояние между параллельными маршрутами не было ближе 250 – 300 м. Учёты проводили постоянные учетчики в разных направлениях, чтобы избежать пересечения маршрутных путей. Расчеты плотности выполняли по методу, предложенному Н. Г. Челинцевым (Равкин и др., 1985).

При изучении зависимости численности отдельных видов жаворонков от почвенно-растительной структуры ключевых участков нами, помимо наземных исследований, были использованы данные, полученные при дешифрировании космоснимков высокого разрешения. В пределах целинных территорий Северного Прикаспия максимальная выраженность контрастов в почвенном покрове представлена в позднелетний-раннеосенний период (Гонин, 1980; Виноградов, 1984; Трофимов, 2001). Весной контрасты сnivelированы за счет бурного разрастания эфемеров и эфемероидов. В связи с этим наиболее информативным для дешифрирования почвенно-растительного покрова территории Прикаспийской полупустыни является съемка за период август – сентябрь. В работе использовался детальный многозональный снимок с пространственным разрешением 2 м со спутникового аппарата Pleiades, выполняющего съемку в синем (0.43 – 0.55 мкм), зеленом (0.49 – 0.61 мкм), красном (0.60 – 0.72 мкм) и ближнем инфракрасном (0.79 – 0.95 мкм) ка-

налах спектра. Дата съемки – 2 сентября 2014 г. Площадь покрытия снимками составляет 25 км². Координаты СЗ и ЮВ углов участка Борси – 50.13° с.ш., 47.46° в.д. и 50.08° с.ш., 47.53° в.д.; участка Арал-сор – 49.07° с.ш., 48.07° в.д. и 49.02° с.ш., 48.14° в.д. Трансекты учетов располагались в пределах границ снимков. Вдоль трансекта была создана буферная зона радиусом 150 м, в пределах которой проводился анализ структуры почвенно-растительного покрова с учетом неоднородности изображения на снимке и данных наземных почвенных и геоботанических описаний. Анализ неоднородности изображения на снимке выполнялся с помощью кластерного анализа в программе ILWIS (алгоритм Heckbert quantization) с использованием трех растров в качестве переменных: снимки в инфракрасном и красном каналах и NDVI. Всего, таким образом, было проанализировано 17 учетных маршрутов на ключе Арал-сор общей длиной 15178 м и 11 маршрутов на ключе Борси – 10883 м. На ключе Арал-сор учеты жаворонков выполнены в 2016 и 2017 гг., а на ключе Борси – в 2014 и 2017 гг. С учетом повторов общая длина учетных трансектов на ключе Арал-сор составила 30356 м, а на ключе Борси – 21766 м.

Для оценки связи численности разных видов жаворонков и площади различных растительных сообществ на учетных маршрутах рассчитаны коэффициенты корреляции в программе Microsoft Excel 2010 и представлены точечные диаграммы, для построения которых проведена сортировка аргументов по оси *X* (доля сообщества в растительном покрове маршрута) от минимального к максимальному значению. Полученные кривые (сплошная линия с маркерами) были аппроксимированы полиномиальными распределениями первой и второй степени (пунктирная линия). На диаграммах показаны уравнения линии тренда и величина достоверности аппроксимации (R^2), т.е. приближения теоретической линии к эмпирической. На ключевом участке Арал-сор, где для оценки корреляционной зависимости использовано 17 маршрутов, на 5%-ном уровне значимы коэффициенты корреляции, если они превышают 0.482, а на 1%-ном уровне – если больше 0.606. На ключевом участке Борси, где использовано 11 маршрутов, коэффициент корреляции значим на 5%-ном уровне, если он превышает 0.602, а на 1%-ном уровне – если больше 0.735 (Доспехов, 1985).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследований, выполненных в Западно-Казахстанской области на Джаныбекской полупустынной равнине и Арал-сорской озёрно-солончаковой депрессии, зарегистрировано 4 вида жаворонков. Среди них доминирующими являлись два вида: серый и степной жаворонки. Средняя плотность серого жаворонка составляла 48.5±6.6 пар/100 га. Этот вид встречался в трех из четырех обследованных групп местообитаний. Степной жаворонки встречался во всех местообитаниях, а его средняя плотность составляла 42.2±3.8 пар/100 га. К содоминирующим видам следует отнести белокрылого жаворонка, встречавшегося в двух из четырех обследованных групп местообитаний. Его плотность составляла 18.6±5.3 пар/100 га. К второстепенным видам мы относим полевого жаворонка, населяющего в обследованной нами казахстанской части заволжской полупустыни пырейные лиманы, занимающие незначительную площадь.

Участок Борси. В результате анализа детальных космических снимков и наземных исследований на участке Борси выделены следующие почвенно-растительные разности.

1. *Заросли кустарников и степные травяно-кустарниковые сообщества.* Образованы спиреей зверобоелистной (*Spiraea hypericifolia*), иногда с участием крупшины слабительной (*Rhamnus cathartica*), шиповника (*Rosa* sp.) и разнотравно (*Phlomis pungens*, *Medicago romanica*, *Artemisia austriaca*, *Verbascum phoeniceum*, *Pastinaca clausii*, *Galatella villosa*, *Centaurea diffusa*, *Arenaria longifolia*, *Euphorbia undulata* и мн. др.)-дерновиннозлаковыми (*Agropyron cristatum*, *Stipa lessingiana*, *Festuca valesiaca*, *Koeleria cristata*) сообществами на лугово-каштановых почвах (общее проективное покрытие (ОПП) травяного покрова около 70%).

2. *Злаковые и разнотравно-злаковые* (*Elytrigia* sp., *Artemisia austriaca*, *Veronica spicata*, *Galium ruthenicum*, *Thymus marschallianus* и др.) *сообщества* разной степени сомкнутости, в т.ч. в падинах, на лугово-каштановых почвах (ОПП – 60 – 70%).

3. *Пижмовые* (*Tanacetum achilleifolium*), *дерновинно-злаково* (*Festuca valesiaca*, *Agropyron desertorum*)-*пижмовые сообщества* с участием *Ornithogalum fischerianum*, *Limonium sareptanum*, *Poa bulbosa* и др. (ОПП 30 – 50%) на светло-каштановых солонцеватых почвах.

4. *Разреженные сообщества пижмы* (*Tanacetum achilleifolium*), *прутняка* (*Kochia prostrata*), *чёрной полыни* (*Artemisia pauciflora*) и *злаков* (типчак *Festuca valesiaca*, острец *Leymus ramosus*) в различных сочетаниях (ОПП 20 – 40%) на светло-каштановых солонцеватых почвах.

5. *Разреженные прутняково-чернополынные* (*Kochia prostrata*, *Artemisia pauciflora*) *сообщества* с небольшим участием *Ornithogalum fischerianum*, *Ferula caspica* сообщества (ОПП 20 – 30%) на солонцах.

6. *Оголенная поверхность* (такыровидная) на солонцах.

По данным учетов 2014 г. (на 11 маршрутах – 1, 2, 5 – 8, 13, 15 – 18), установлена сильная положительная корреляция между численностью серого жаворонка и долей оголенной поверхности (такыровидной) с солонцами в растительном покрове учетных маршрутов ($r = 0.73$; $p \leq 0.05$) и между численностью степного жаворонка и долей зарослей кустарников и степных травянисто-кустарниковых сообществ в растительном покрове учетных маршрутов ($r = 0.74$; $p \leq 0.01$). Средняя положительная корреляция установлена между численностью белокрылого жаворонка и долей пижмово-чернополынно-прутнякового сообщества в растительном покрове учетных маршрутов ($r = 0.65$; $p \leq 0.05$). Средняя отрицательная корреляция существует между численностью серого жаворонка и долей зарослей кустарников и степных травянисто-кустарниковых сообществ и злаковых и разнотравно-злаковых сообществ в растительном покрове учетных маршрутов ($r = -0.62$; $p \leq 0.05$ и -0.64 ; $p \leq 0.05$), а также степного жаворонка и долей дерновинно-злаково-пижмового сообщества ($r = -0.70$; $p \leq 0.05$).

По средним за два года (2014 и 2017 гг.) данным учетов, на 11 маршрутах (1, 2, 5 – 8, 13, 15 – 18) установлена сильная положительная корреляционная зависимость степного жаворонка от доли зарослей кустарников и степных травянисто-кустарниковых сообществ в растительном покрове учетных маршрутов ($r = 0.92$; $p \leq 0.01$); средняя отрицательная корреляционная зависимость между численно-

стью степного жаворонка и долей дерновинно-злаково-пижмового сообщества ($r = -0.64$; $p \leq 0.05$) и долей пижмово-чернополынно-прутнякового сообщества в растительном покрове учетных маршрутов ($r = -0.60$; $p \leq 0.05$).

При анализе данных, полученных на маршрутах 1, 2, 5 – 8, 13, 15 – 18, выполненных в 2017 г., установлена положительная корреляционная связь между численностью степного жаворонка и долей зарослей кустарников и степных травянисто-кустарниковых сообществ в растительном покрове учетных маршрутов ($r = 0.72$; $p \leq 0.05$); и отрицательная корреляционная зависимость между численностью степного жаворонка и долей пижмово-чернополынно-прутнякового сообщества в растительном покрове учетных маршрутов ($r = -0.70$; $p \leq 0.05$).

Участок Арал-сор. На ключевом участке Арал-сор прослеживаются трехчленные растительные комплексы, однако, степень их выраженности менее четкая, чем на участке Борси или, например, в районе Джаныбекского стационара. Здесь ассоциациям доминирующих видов свойственна полидоминантная структура. В пределах изученного участка в полосе, прилегающей к озеру, дифференциация растительного покрова выражена меньше. Следует отметить, что, несмотря на явно выраженную трехчленность растительности, контрастность почвенного покрова выражена слабо, комплекс представлен солонцами на микроповышениях и бурями солонцеватыми почвами на микросклонах и в микропонижениях.

На участке Арал-сор выделяется 6 типов почвенно-растительных комплексов.

1. *Сообщества пижмы тысячелистниковой *Tanacetum achilleifolium** имеют диффузное распространение, они часто встречаются по краям мелких западин с солонцеватыми бурями полупустынными почвами, где образуют полидоминантные (в разном сочетании и соотношении видов) ассоциации с белой полынью и злаками: типчаком, житняком пустынным, мятликом луковичным, а также на плакорах в составе пижмово-белопопынных сообществ. ОПП сообществ с участием пижмы 25 – 45%, куртинки мятлика 20 – 55%, голая земля 15 – 40%. В пижмовых сообществах с мятликом луковичным *Poa bulbosa* куртинки мятлика занимают до 50% поверхности, голая земля – около 10%.

На трансектах, близких к озеру, пижма принимает участие в мятликово-пижмовых и чернополынно-белопопынно-пижмовых сообществах с некоторым участием в них прутняка и камфоросмы.

2. В микрокомплексном покрове Арал-сорского участка *чёрная полынь (*Artemisia pauciflora*) образует галофитный вариант пустынных сообществ* на микроповышениях с солонцеватыми почвами. Чернополынники имеют полидоминантный состав, чистые чернополынники на трансектах не зафиксированы, и, по-видимому, их на участке нет или их очень мало. Субэдикаторами в таких сообществах могут быть полынь белая, прутняк, реже биюргун и камфоросма. Здесь обычны прутняково-белопопынно-чернопопынные ассоциации. В таких сообществах чёрной полыни почти отсутствуют плотнодерновинные злаки, однако может присутствовать мятлик луковичный, куртинки которого в прутняково-белопопынно-чернопопынных сообществах занимают до 40 – 60% поверхности. В травостое сообществ с чёрной полынью могут принимать участие ферула, петросимония (*Climacoptera lanata*, *Ceratocarpus arenarius*) и другие однолетники. При наличии нор

общественной полёвки и малого суслика (*Microtus socialis*, *Spermophilus pigmaeus*) возрастает участие сорных однолетников.

Сообщества с участием чёрной полыни имеют несколько меньшее ОПП (15 – 20%), чем белополынные, они практически лишены подстилки, но куртинки мятлика занимают от 15 до 60%, поэтому доля голой земли колеблется в них от 20 до 50 – 60%.

3. Однолетниковые сообщества образованы более или менее сомкнутым «ковром» из видов *Petrosimonia* spp. с редким участием биюргуна, чёрной или белой полыней, ферулы каспийской (*Ferula caspica*), эфемеров (*Descurainia sophia*, *Lepidium perfoliatum*, *Lappula* spp., *Ceratocarpus arenarius*) на солонцах. ОПП 20 – 40%, покрытие куртинок мятлика и растительных остатков колеблется от 15 до 50 – 80% общей поверхности.

Если такое сообщество располагается на выбросах землероев, то в его составе много сорных видов (*Descurainia sophia*, *Lepidium perfoliatum*, *Lappula* spp., *Eretorhynchum orientale*), а доля голой земли, особенно на свежих выбросах, местами резко увеличивается.

Число сусликовин и их высота значительно меньше, чем в районе Джаныбекского стационара. Степень покрытия растительностью и ее состав изменчивы. Верх сусликовины часто голый или имеет ОПП около 70%, здесь растут биюргун, петросимонии, клоповник, дескурайния Софьи, мятлик луковичный, рогач песчаный, лебеда.

Участие мхов в сообществах Арал-сорского участка незначительно (в виде очень мелких пятнышек), а покрытие лишайников (листоватых, полукустистых, накипных) колебалось в пределах 5 – 15%. Тёмно-коричневые талломы листоватого неприкрепленного (кочующего) лишайника (*Neofuscelia rysssolea*) синоним (*Parmelia rysssolea*) – пармелия грубоморщинистая отмечены в очень распространенных сообществах совместного произрастания полыней чёрной, Лерха, прутняка с примесью биюргуна, а также однажды встречен в однолетниковом сообществе. Эти лишайники часто создают темный почти черный фон, так как в значительной степени покрывают почву между кустиками биюргуна или полыни.

4. Степная дерновиннозлаковая растительность занимает микрозападины на бурых полупустынных почвах. Она представлена *полыньково-житняково-типчачковыми* (*Festuca valesiaca*, *Agropyron desertorum*, *Artemisia austriaca*) сообществами, нередко с *полынью белой* (*Artemisia lerchiana*), *тижмой* (*Tanacetum achilleifolium*), в более глубоких западинах и ложбинах стока с *ковылем* *Stipa lessingiana*, иногда *S. sareptana*. В составе растительности могут принимать участие *Poa bulbosa*, *Ferula caspica*, *Euphorbia undulata*, *Alyssum desertorum*, *Veronica verna*.

ОПП 30 – 55%, куртинки мятлика занимают в среднем 15 – 25%. Если полынок в западинках отсутствует, доля куртинок мятлика может возрасти до 30%. В лерхополюнно-ковыльном и ковыльном сообществе голой земли почти нет, куртинки мятлика, переплетенные с растительными остатками, занимают 50 и 70% поверхности, а лишайники и мхи отсутствуют.

В пределах изученного участка на трансектах, расположенных ближе к озеру, в западинах не отмечена *полынь австрийская*, а типчак встречается значительно реже.

5. *Мятликовые сообщества с редким участием типчака, чёрной и белой полыней, молочая волнистого* *Euphorbia undulata*, *эфемеров и эфемероидов*. ОПП 10 –

20%. Куртинки мятлика около 40%, голой земли около 10%. Мятликовые сообщества произрастают на солонцах и солонцеватых почвах.

6. Здесь широко распространены пустыни с преобладающей *формацией настоящих ксерофитных пустынь из полыни белой* (Лерха) *Artemisia lerchiana*. Белополынные занимают плакоры и мелкие микрозападины с бурыми полупустынными почвами. Монодоминантные белополынные (в сочетании с мятликом луковичным) на трансектах зафиксированы редко, хотя, по-видимому, они на участке произрастают.

Субэдикаторы белой полыни – полынь чёрная (*Artemisia pauciflora*), прутняк (*Kochia prostrata*), реже биюргун (*Anabasis salsa*). В сообществах могут присутствовать мятлик луковичный (*Poa bulbosa*), ферула каспийская (*Ferula caspica*), летние и летне-осенние однолетники. Формация полыни белой представлена ассоциациями: прутняково-белополынной, пижмово-прутняково-белополынной, пижмово-белополынной. В остепняющихся сообществах полыни белой в западинах содоминантами могут быть плотнoderновинные злаки: типчак (*Festuca valesiaca*), житняк пустынный (*Agropyron desertorum*), ковыли (*Stipa lessengiana*, *S. sareptana*), а также пижма тысячелистниковая (*Tanacetum achilleifolium*), полынь австрийская (попынок) (*Artemisia austriaca*).

ОПП (общее проективное покрытие) белополынных изменчиво, приблизительно 30%, если в состав ассоциаций входят только полукустарнички, и до 40% общей поверхности при участии в них злаков и пижмы. В последнем случае растительные остатки (подстилка) занимают заметную долю в ОПП (до 50%) и, соответственно, снижается доля голой земли с 35 – 40 до 15%. Например, проективное покрытие куртинок мятлика луковичного в мятликово-белополынных ассоциациях бывает до 50 – 60% поверхности при 15% голой земли. Под собственно белополынными расположены бурые полупустынные почвы, а под ее сообществами смешанного состава – солонцы.

7. Дерновинно-злаково-попынно-разнотравная растительность на залежах с бурыми полупустынными почвами (ОПП – 60 – 70%) (*Stipa lessengiana*, *S. sareptana*, *Festuca valesiaca*, *Agropyron desertorum*, *Koeleria gracilis*, *Artemisia lerchiana*, *Descurainia sophia*, *Lepidium perfoliatum*, *Lappula* spp., *Eremopyrum orientale*, *Artemisia austriaca* и др.) ОПП – 60 – 70%.

При анализе всех учетных маршрутов на Арал-Сор в 2016 г. установлена сильная положительная корреляция между количеством белокрылого жаворонка и долей мятликового ($r = 0.81$; $p \leq 0.01$) и чернопопынного сообществ ($r = 0.61$; $p \leq 0.01$) в растительном покрове учетных маршрутов. В то же время – сильная отрицательная корреляция с долей пижмовых сообществ ($r = -0.62$; $p \leq 0.01$), а также средняя отрицательная корреляция с долей однолетниково-петросимониевых сообществ ($r = -0.51$; $p \leq 0.05$) и долей дерновинно-злаковых сообществ в растительном покрове ($r = -0.51$; $p \leq 0.05$). Кроме этого установлена средняя положительная корреляция ($r = 0.60$; $p \leq 0.05$) между количеством серого жаворонка и долей лерхопопынного сообщества и средняя отрицательная корреляционная связь ($r = -0.56$; $p \leq 0.05$) этого вида и долей однолетниково-петросимониевых сообществ в растительном покрове. Для степного жаворонка обнаружена сильная положительная корреляционная связь ($r = 0.63$; $p \leq 0.01$) с долей дерновинно-злаковых сообществ, а также средняя положительная корреляционная связь ($r = 0.58$;

АНАЛИЗ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ

$p \leq 0.05$) с долей пижмовых сообществ в растительном покрове. Кроме этого установлена средняя отрицательная корреляционная связь ($r = -0.55$; $p \leq 0.05$) с долей чернополюнных сообществ и такая же связь ($r = -0.58$; $p \leq 0.05$) с долей мятликовых сообществ в растительном покрове.

Графики эмпирических распределений количества отдельных видов жаворонков в зависимости от соотношения растительных сообществ на ключевом участке Борси, построенные по данным на 11 маршрутах, аппроксимированы теоретическими распределениями. На рис. 1 *а, б, в, 2 а, б* и 3 *а* приведено теоретическое распределение – полином второй степени, а на рис. 1 *г* и 3 *б* – полином первой степени, или линейный тренд.

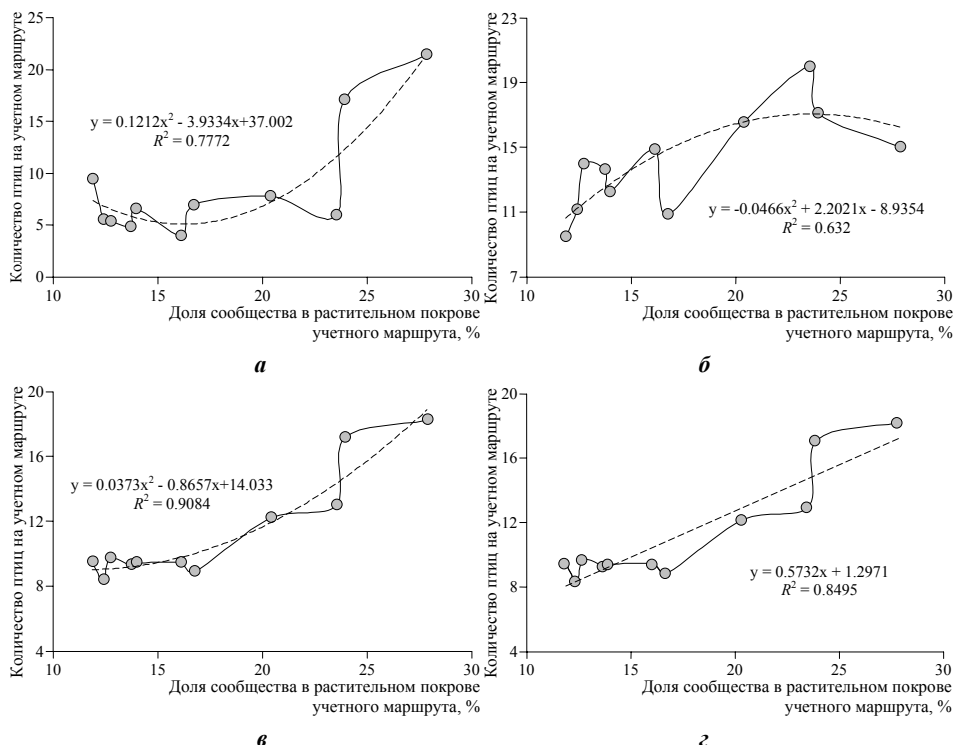


Рис. 1. Изменение численности степного жаворонка при увеличении в растительном покрове учетного маршрута доли зарослей кустарников и степных травянисто-кустарниковых сообществ (участок Борси): *а* – 2014 г. (коэффициент корреляции 0.74), *б* – 2017 г. (коэффициент корреляции 0.72), *в* – среднее за 2014 и 2017 гг. (коэффициент корреляции 0.92), *г* – среднее за 2014 и 2017 гг. (коэффициент корреляции 0.92)

Таким образом, при проведении аппроксимации эмпирических распределений количества жаворонков в зависимости от доли различных биотопов на полосе учетных маршрутов получены значительные совпадения эмпирических распреде-

лений полиномам первой и второй степени, что отражает величина параметра R^2 , достигающего в отдельных случаях значения, равного 0.91 и не опускающегося ниже 0.41.

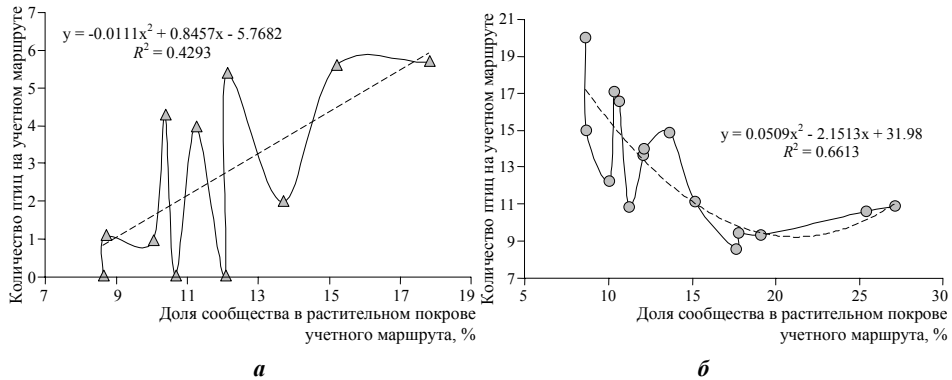


Рис. 2. Изменение численности белокрылого жаворонка (2014 г.) и степного жаворонка (2017 г.) при увеличении в растительном покрове учетного маршрута доли пижмово-чернопыльно-прутяжкового сообщества (участок Борси): *а* – белокрылый жаворонок (коэффициент корреляции 0.65), *б* – степной жаворонок (коэффициент корреляции -0.70)

Графики эмпирических распределений количества отдельных видов жаворонков в зависимости от соотношения растительных сообществ на ключевом участке Арал-сор, построенные по данным на 17 маршрутах, аппроксимированы теоретическими распределениями. На рис. 4 *а*, *б*, 5 *а* и *б* приведено теоретическое распределение – полином второй степени, а на рис. 5 *а* – полином первой степени, или линейный тренд.

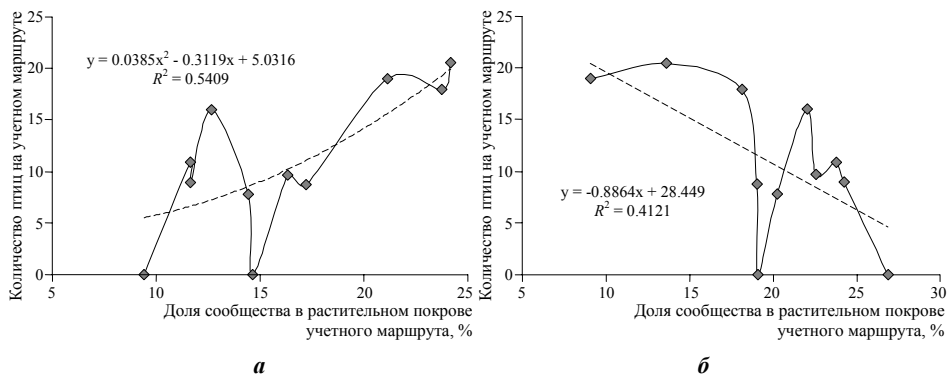


Рис. 3. Изменение численности серого жаворонка при увеличении в растительном покрове учетного маршрута доли оголенной поверхности (такыровидной) с солонцами (*а*) и злаковых и разнотравно-злаковых (*б*) сообществ (участок Борси, 2014 г.), коэффициент корреляции 0.73 и -0.64 соответственно

АНАЛИЗ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ

Таким образом, при проведении аппроксимации эмпирических распределений количества жаворонков в зависимости от доли различных биотопов на полосах учетных маршрутов получены значительные совпадения эмпирических распределений полиномам первой и второй степени, что отражает величина параметра R^2 , достигающего в отдельных случаях значения, равного 0.79 и не опускающегося ниже 0.40.

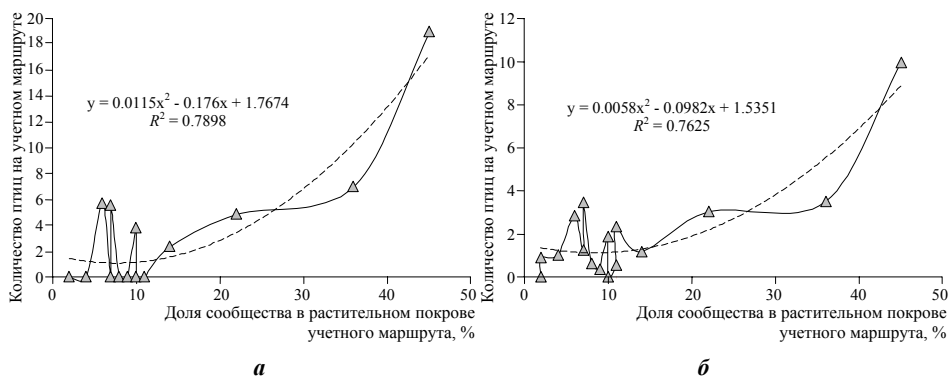


Рис. 4. Изменение численности белокрылого жаворонка при увеличении в растительном покрове учетного маршрута доли мятликового сообщества (участок Арал-сор): *а* – 2016 г. (коэффициент корреляции 0.83), *б* – в среднем за 2016 и 2017 гг. (коэффициент корреляции 0.81)

В результате анализа материалов, полученных с помощью маршрутных учетов жаворонков и дешифрирования крупномасштабных космоснимков с разрешением 2 м на ключевых участках Борси и Арал-сор, для степного жаворонка, серого и белокрылого жаворонков найдены корреляционные зависимости количества от-

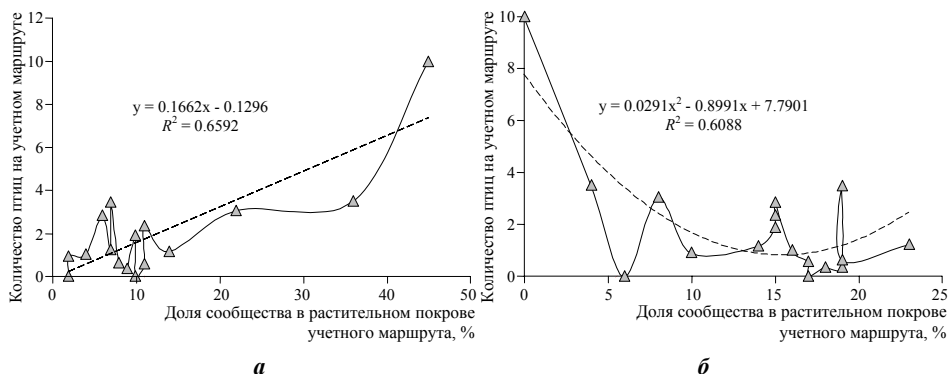


Рис. 5. Изменение численности белокрылого жаворонка при увеличении в растительном покрове учетного маршрута доли мятликового (*а*) и низжмового (*б*) сообщества (участок Арал-сор, в среднем за 2016 и 2017 гг.), коэффициент корреляции 0.81 и -0.62 соответственно

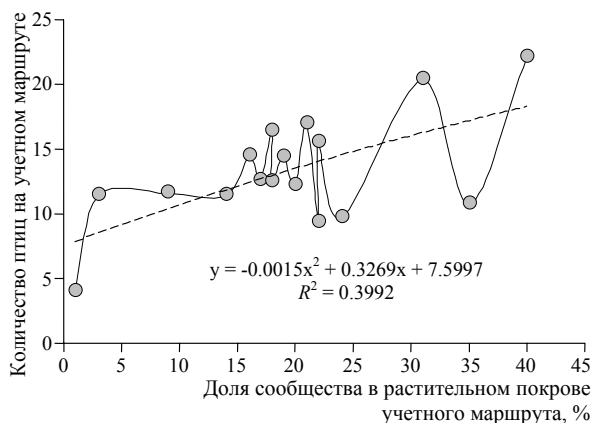


Рис. 6. Изменение численности степного жаворонка при увеличении в растительном покрове учетного маршрута доли дерновинно-злаковых сообществ (участок Арал-сор, в среднем за 2016 и 2017 гг.). Коэффициент корреляции 0.63

дельных видов жаворонков от долей различных биотопов на полосах учетных маршрутов от высокого до среднего уровней, как положительные, так и отрицательные. Для полевого жаворонка таких достоверных зависимостей установить не удалось из-за низкой численности вида и его приуроченности в полупустыне казахстанской части Прикаспийской низменности к лиманным понижениям, занятым пырейниками, которые практически не были представлены на ключевых участках.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обнаружены статистически значимые связи плотности населения трех видов жаворонков со структурой растительного покрова. Для полевого жаворонка это не удалось сделать из-за его малочисленности на территории ключевых участков и малой представленности занимаемых им местообитаний – пырейных лиманов. Таким образом, на основе использования космоснимков высокого разрешения для дешифрирования выделов растительных ассоциаций с использованием статистических методов показана тесная связь распределения трех видов жаворонков, обитающих в заволжской полупустыне Прикаспийской низменности, с определенными растительными сообществами, которые они предпочитают использовать в качестве гнездовых станций.

Продолжение этих исследований позволит авторам статьи составить алгоритм оценки пригодности территории конкретным ландшафтно-экологическим районам для обитания тех или иных видов позвоночных с использованием спектрально-спутниковых снимков Landsat-8 среднего разрешения (30 м), выложенных в бесплатном доступе.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 16-05-00488).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алейников А. А. Современные геоинформационные системы и космоснимки высокого разрешения в исследовании бобровых ландшафтов // Дистанционные методы исследования в зоологии : материалы науч. конф. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2011. С. 3.

Бибби К., Джонс М., Марсден С. Методы полевых экспедиционных исследований. Исследования и учеты птиц / Союз охраны птиц России. М., 2000. 186 с.

АНАЛИЗ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ

- Виноградов Б. В.* Аэрокосмический мониторинг экосистем. М. : Наука, 1984. 316 с.
- Гершензон О. Н., Кучейко А. А., Евтушенко Н. В.* Использование данных дистанционного зондирования для защиты беломорской популяции гренландского тюленя // Дистанционные методы исследования в зоологии : материалы науч. конф. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2011. С. 18.
- Гонин Г. Б.* Космическая фотосъемка для изучения природных ресурсов. Л. : Недра, 1980. 318 с.
- Данилов В. А.* Использование ГИС-технологий при мониторинге охотничье-промысловых млекопитающих на промышленно-осваиваемых месторождениях Якутии // Дистанционные методы исследования в зоологии : материалы науч. конф. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2011. С. 21.
- Дистанционные методы исследования в зоологии : материалы науч. конф. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2011. 2011. 108 с.
- Добрынин Д. В.* Особенности анализа структуры ареалов тундровой орнитофауны по материалам дистанционного зондирования // Дистанционные методы исследования в зоологии : материалы науч. конф. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2011 а. С. 22.
- Добрынин Д. В.* Космические снимки как модели факторов среды в зоологических исследованиях // Дистанционные методы исследования в зоологии : материалы науч. конф. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2011 б. 2011. С. 23.
- Доспехов Б. А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М. : Агропромиздат, 1985. 351 с.
- Елаков В. В.* Материалы спутниковых съемок и методы GPS-позиционирования в исследовании сезонной активности северного оленя // Дистанционные методы исследования в зоологии : материалы науч. конф. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2011. С. 25.
- Колесников В. В., Кетова Н. С., Суханова М. С., Брандлер О. В.* Использование космических снимков для учета сурков // Дистанционные методы исследования в зоологии : материалы науч. конф. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2011. С. 32.
- Куликова О. Я., Покровский И. Г.* Опыт использования космических снимков сверхвысокого разрешения для крупномасштабного зоогеографического картографирования местообитаний мохноного канюка (*Buteo lagopus*) // Дистанционные методы исследования в зоологии : материалы науч. конф. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2011. С. 41.
- Опарин М. Л., Опарина О. С., Мамаев А. Б., Рубан О. А.* Структура населения наземногнездящихся птиц саратовского Заволжья и ее внутривековая и межгодовая динамика // Поволж. экол. журн. 2013. № 3. С. 280 – 290.
- Опарин М. Л., Конюшкова М. В., Опарина О. С., Мамаев А. Б., Шадрин М. Б., Рубан О. А.* Структура гнездового населения жаворонков (Alaudidae, Aves) в типичных местообитаниях полупустыни Прикаспийской низменности // Поволж. экол. журн. 2014. № 3. С. 379 – 392.
- Опарин М. Л., Кондратенков И. А., Конюшкова М. В., Опарина О. С., Мамаев А. Б., Трофимов И. А., Трофимова Л. С.* Динамика структуры гнездового населения жаворонков (Alaudidae, Aves) в полупустыне саратовского Заволжья // Поволж. экол. журн. 2015. № 3. С. 277 – 293.
- Равкин Е. С., Челинцев Н. Г.* Методические рекомендации по комплексному маршрутному учету птиц / Всесоюз. науч.-исслед. ин-т охраны природы и заповедного дела. М., 1990. 36 с.
- Равкин Ю. С., Гуреев С. П., Покровская И. В.* Пространственно-временная динамика животного населения (птицы и мелкие млекопитающие). Новосибирск : Наука. Сиб. отделение, 1985. 206 с.
- Трофимов И. С.* Аэрокосмическое картографирование и мониторинг природных кормовых угодий аридных территорий России : дис. ... д-ра геогр. наук. М., 2001. 453 с.