

4.1.6. – Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агролесомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация (сельскохозяйственные науки)

УДК 631.6.02:528

DOI: 10.34736/FNC.2023.120.1.005.28-37

Анализ и динамика фитоэкологических условий Арчединско-Донских песков по длинному ряду аэрокосмических снимков

Константин Николаевич Кулик¹³, акад. РАН, д.с.-х.н., ORCID 0000-0001-7124-8116

Константин Дмитриевич Кулик², ORCID 0000-0002-3121-8075

Александр Сергеевич Хныкин¹, ORCID 0000-0001-8577-1960

Елизавета Сергеевна Слайковская^{✉ 13}, slaykovskaya02@mail.ru
ORCID 0000-0001-6799-5418,

¹«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»

(ФНЦ агроэкологии РАН), e-mail: info.vfanc.ru, 400062, Университетский проспект, 97, Волгоград, Россия

²Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), kulik.k2000@gmail.com, 105064, Гороховский переулок, 4, Москва, Россия

³Волгоградский государственный университет, e-mail: rector@volsu.ru, 400062, Университетский проспект, 100, Волгоград, Россия

Аннотация. В работе представлен результат анализа аэрокосмических снимков (АКС) Арчединско-Донских песков Волгоградской области, сделанных с 1961 по 2018 гг. Для обзорного картографирования применялись космические снимки (КС) М 1:1000000, которые увеличивались до рабочего М 1:250000 и использовались при полевых работах. По дешифровочным признакам (тон и рисунок фотоизображения) выделены ландшафтные комплексы песков: 1 – бугристо-барханные незаросшие и слабозаросшие, 2 – бугристые среднезаросшие и заросшие, 3 – грядово-бугристые пески; 4 – пологоволнистая песчаная равнина; 5 – крупные депрессии; 6 – плоская супесчаная равнина. Для детального картографирования и полевых работ на тестовых (ключевых) участках применялись фотосхемы М 1:100000, аэрофотоснимки (АФС) М 1:50000-1:25000, увеличенные до рабочего М 1:30000-1:10000 и крупнее, спектрально- и многозональные КС высокого разрешения. Сравнение снимков свидетельствует об относительной устойчивости процессов зарастания среднебугристой части массива и медленном развевании крупнобугристых песков в центральной его части, что связано с изменением климата и интенсивностью антропогенного воздействия на экосистему. На ключевом участке «Вилтов» установлены границы и площади типов песков за 60 лет, в различные временные периоды. Для этих целей были построены матрицы переходов типов песков друг в друга по 24 направлениям и получены их количественные показатели. Они показывают четкую связь сукцессий и изменений в морфологии и фитоэкологии песчаного массива с климатом и антропогенной нагрузкой. Данный методический подход позволит в дальнейшем сформировать математическую модель динамики и осуществлять прогнозирование процессов деградации и восстановления в экосистеме.

Ключевые слова: Арчединско-Донские пески, песчаные земли, аэрокосмические снимки, фитоэкологические условия.

Финансирование. Работа выполнена в соответствии с планом государственного задания «Разработка новой методологии оптимального управления биоресурсами в агроландшафтах засушливой зоны РФ с использованием системно-динамического моделирования почвенно-гидрологических процессов, комплексной оценки влияния климатических изменений и антропогенных нагрузок на агробиологический потенциал и лесорастительные условия» (№FNFE-2022-0011).

Цитирование. Кулик К.Н., Кулик К.Д., Хныкин А.С., Слайковская Е.С. Анализ и динамика фитоэкологических условий Арчединско-Донских песков по длинному ряду аэрокосмических снимков // Научно-агрономический журнал. 2023. № 1 (120). С. 28-37. DOI: 10.34736/FNC.2023.120.1.005.28-37

Поступила в редакцию: 11.01.2023

Принята к печати: 14.03.2023

Введение. Арчединско-Донской песчаный массив (координаты центра 49° 30' с.ш., 43° 10' в.д.) относится к Придонским террасовым пескам и расположен в междуречье Дона, Медведицы, Арчеды и Иловли в пределах степной зоны Хопер-Медведицкой физико-географической провинции Волгоградской области [18].

Придонские террасовые пески – неоднократно подвергавшиеся эоловой переработке древнеаллювиальных отложений Дона и его притоков, в основании которых залегают третичные кварцевые пески. Поверхность Арчединско-Донского массива представляет собой относительно плоские террасы с общим уклоном в сторону Дона. Их северо-

восточная часть представлена высокой третьей террасой, имеющей равнинный рельеф с замкнутыми округлыми понижениями или довольно глубокими древними ложбинами стока. Вторая более низкая терраса сложена песками, отличается бугристым и грядовым рельефом и выровненными слегка всхолмленными территориями [5-7].

Бугры, гряды, холмы, как правило, высотой 3-6 м чередуются с понижениями различной формы и величины. Преимущественно это котловины выдувания, лишенные растительности, понижения с ольховыми и березово-осиновыми колками, луговой растительностью и болотами. Вторая терраса примыкает уступом к первой низкой надпойменной террасе, которая подтопляется высокими паводковыми водами и поэтому на большом протяжении размывта. Пойменная терраса хорошо выражена на притоках Дона. Ширина поймы 2-4 км, почвы аллювиальные, суглинистые и супесчаные, в значительной степени, заросшие листовыми лесами [8, 16].

В геологическом отношении Арчединско-Донские пески – это аллювиальные слоистые пески (слои отложенного песка перемежаются прослойками суглинка и глины), мощность которых достигает 15-20 м. Ниже они подстилаются слоистыми глинами. Выходы песков на поверхность в большинстве случаев затронуты золовой переработкой и представлены буграми в той или иной степени перевеваемых песков. На высокой третьей террасе пески сверху покрыты супесями и суглинками мощностью 2,0-2,5 м, непосредственно на которых формируются почвы, местами покрытые золовыми песчаными наносами с низких террас [6-8].

Наиболее близкое залегание грунтовых вод (ГВ) отмечается среди бугристых песков (2-4 м). На равнинах третьей террасы ГВ залегают на глубине 12-14 м. Уклоны их составляют 0,001-0,002 и направлены в сторону Дона и его притоков. Имеются выходы ГВ на поверхность в виде родников, озер и болот в крупных депрессиях среди бугристых и грядово-бугристых песков. Обычно ГВ пресные, их минерализация (МГВ) не превышает 1 г/л. Наблюдаемая «верховодка» в песках на глубине 2-3 м связана с характером выпадения осадков и наличием в песчаной толще глинистых прослоек [2, 9].

Арчединско-Донские пески расположены на границе двух почвенных зон: темно-каштановой и черноземной. Однако почвы песчаных массивов резко отличаются от зональных почв водоразделов. Их своеобразие объясняется, прежде всего, легким гранулометрическим составом, особенностями водно-физических свойств и растительного покрова, более молодым возрастом, периодическим развеванием, а во многих местах и высоким стоянием ГВ.

Черноземовидные почвы приурочены к равнине третьей террасы и озерно-дельтовой равнине Арчединско-Донского междуречья. По гранулометрическому составу эти почвы супесчаные или легкосуглинистые. Мощность гумусового горизон-

та 60-80 см. Окраска равномерная, темная, содержание гумуса в верхнем горизонте 1,5-2,0% [6, 11].

Дерново-степные связнопесчаные почвы (серопески) располагаются на второй и третьей террасах [15]. По степени гумусированности они делятся на глубоко- и среднегумусированные. Наибольшее распространение имеют среднегумусированные почвы. Мощность гумусового горизонта до 60 см, окраска его темно-серая, равномерная по всему профилю. По гранулометрическому составу большинство этих почв оглиненные. Содержание гумуса в верхнем горизонте 1,0-1,3%.

Маломощные дерново-степные песчаные почвы широко распространены на бугристых песках, возникших вследствие антропогенной дефляции. Мощность гумусового горизонта 20-30 см. Окраска равномерная, серая, с коричневым оттенком. Содержание гумуса в верхнем горизонте 0,7%.

Примитивные песчаные почвы связаны с современной антропогенной дефляцией (распашка, перегрузка пастбищ). В отдельных случаях, как, например, на Голубинском массиве, они являются продуктом слабого зарастания песков в естественном состоянии. Чаще примитивные песчаные почвы приурочены к средне- и крупнобугристым пескам. Мощность гумусового горизонта от 5 до 15 см, окраска светло-серая, сложение рыхлое. Содержание гумуса 0,2-0,3% [19].

Луговые песчаные и супесчаные почвы располагаются по понижениям с близким к поверхности уровнем залегания ГВ. Мощность гумусового горизонта достигает 60 см, окраска темная, переходы одного горизонта в другой постепенные. В верхнем горизонте до 2,3% гумуса. Эти почвы по условиям увлажнения, питательному режиму являются лучшими для создания на них кормовых севооборотов и долгодетных культурных пастбищ [11].

Кроме перечисленных почв, на песчаных массивах имеют место болотные, темно-каштановые и каштановые почвы легкого гранулометрического состава, однако они занимают незначительные площади, как и незакрепленные пески, приуроченные обычно к вершинам и склонам гряд и бугров, местам концентрации скота, а также к фермам и населенным пунктам. Неустойчивость песков к дефляции и периодическое их разбивание привели к формированию эродированных в той или иной степени погребенных почв, которые оказывают существенное влияние на возможность комплексного освоения песков [5, 7, 16].

Климат района довольно засушливый. Континентальность нарастает с северо-запада на юго-восток: значительно повышается температура при одновременном уменьшении количества осадков. Из 10 лет 3-4 года растения не обеспечиваются влагой осадков, 3 года обеспечиваются удовлетворительно и лишь 3-4 года полностью [13, 20].

В зависимости от фитоэкологических условий пески находятся в разных стадиях зарастания и имеют различный видовой состав растительно-

сти. По степени покрытия растительностью выделяют пески:

- незаросшие (разбитые), на которых имеются единичные растения или небольшие куртины, занимающие до 10% площади;
- слабозаросшие с частыми очагами дефляции, покрытие растительностью 10-30%;
- среднезаросшие с единичными очагами дефляции, растительностью занято 30-50% площади;
- заросшие без очагов дефляции с покрытием растительностью более 50% площади [1, 11].

Цель исследования – проанализировать фитоэкологические условия Арчединско-Донских песков и изменение их состояния по длинному ряду разновременных аэрокосмических снимков.

Материалы и методы. Для проработки методических вопросов, связанных с дешифрированием АКС, в пределах Арчединско-Донских и Голубинских песков в течение 1982-1993 гг. было заложено и изучено три полигона с 20 ключевыми участками, которые характеризуют основные крупные массивы: полигон 1 включает в себя пески, расположенные в нижнем течении р. Иловли до ее впадения в р. Дон; полигон 2 охватывает территорию междуречья Дон – Медведица – Арчеда; полигон 3 – Голубинский песчаный массив [11].

Картографирование фитоэкологических условий этих песков осуществлялось с привлечением КС, выполненных в период с 1975 по 2018 г., в основном летних аспектов. Масштаб черно-белых оригиналов 1:2400000 – 1:1000000. Снимки увеличивались до рабочего М 1:250000 и использовались при полевых работах. Применялись также фотосхемы М 1:100000, спектрзональные и мезозональные снимки высокого разрешения. Как установлено в результате исследований, наиболее информативными дешифровочными признаками на КС являются тон (цвет) и рисунок фотоизображения, обусловленные степенью зарослости, макро- и мезорельефом песков. По этим признакам выделены ландшафтные комплексы Арчединско-

Донских песков: 1 – бугристо-барханные незаросшие и слабозаросшие, 2 – бугристые среднезаросшие и заросшие, 3 – грядово-бугристые пески; 4 – пологоволнистая песчаная равнина; 5 – крупные депрессии; 6 – плоская супесчаная равнина.

Работы по визуальному дешифрированию, расчётам площадей ландшафтных комплексов и компоновке картосхем проводились в программе ArcMap ПО ArcGIS версии 10.6.1 стандартными наборами инструментов [11].

Результаты работ по использованию КС для картографирования песков позволяют более детально по сравнению с традиционными наземными методами подходить к оценке фитоэкологических условий [22]. Ниже приводятся материалы детального картографирования песков, которое осуществлялось по аэрофотоснимкам (АФС) М 1:50000-1:25000, увеличенным до рабочего М 1:30000-1:10000 и крупнее и КС высокого разрешения. По ним проводились комплексные полевые исследования количественной и качественной оценки фитоэкологического потенциала региона.

Результаты и их обсуждение. АФС позволили уточнить границы контуров выделенных по КС шести ландшафтных комплексов, представляющих Арчединско-Донские пески, определить степень зарослости средне- и крупнобугристых песков с дифференцировкой на незаросшие, слабо, среднезаросшие и заросшие, таксационные показатели и видовой состав древесной и частично травянистой растительности, зафиксировать некоторые другие ландшафтные характеристики.

Кроме того, каждый комплекс удалось уверенно подразделить на урочища, невыделенные по КС вследствие генерализации изображения, и конкретизировать фитоэкологические условия для каждого из них. Ключевой участок 1 заложен в районе х. Вилтов на грядовых незаросших и слабозаросших, а также бугристых разной степени зарослости песках (рис. 1).

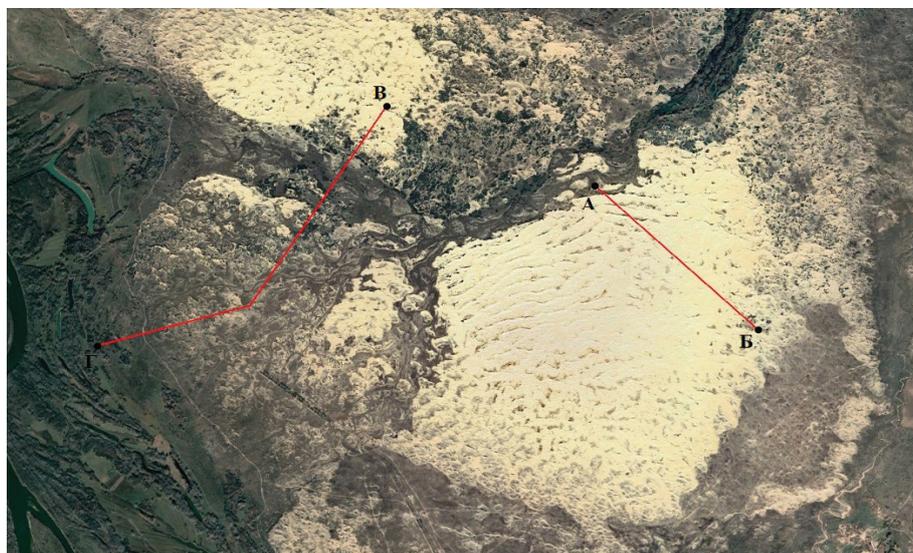


Рисунок 1. КС ключевого участка 1 «Вилтов» (49°29'35.30" с.ш., 43°41'16.66" в.д.), 27.10.2021 г.

АФС и КС высокого разрешения позволяют выделить здесь участки современных грядовых преимущественно лишенных почвенно-растительного покрова и древних заросших грядовых песков.

Кроме того, выделяются среднебугристые раз-

битые слабо- и среднезаросшие пески. В сельском хозяйстве они совершенно не используются и представляют опасность для окружающих территорий в связи с переносом песчаного материала на прилегающие сельскохозяйственные угодья (рис.2).

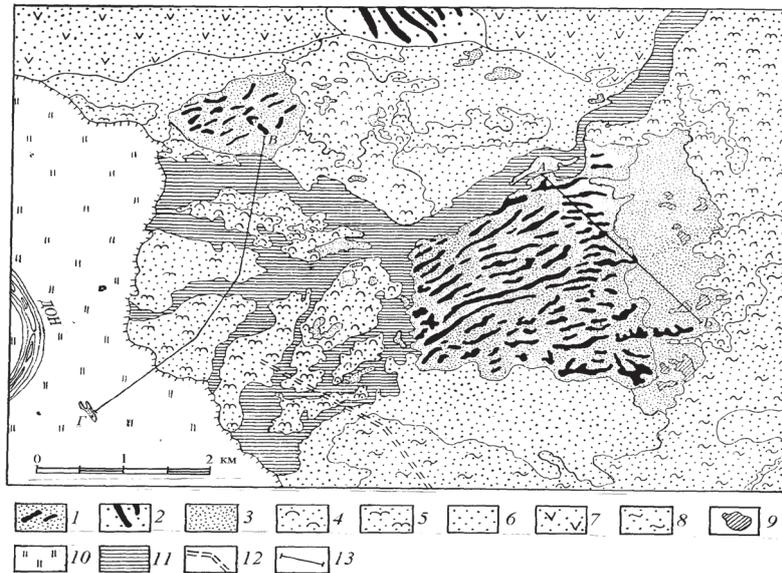


Рисунок 2. Ландшафтно-экологическая схема ключевого участка «Вилтово» по АКС за 2014 г. пески грядовые: 1 – современные незаросшие, 2 – древние заросшие; пески бугристые: 3 – крупно- и среднебугристые незаросшие обарханенные, 4 – крупнобугристые обарханенные незаросшие и слабозаросшие, 5 – крупно- и среднебугристые заросшие можжевельником, 6 – среднебугристые заросшие, 7 – среднебугристые среднезаросшие, 8 – пологобугристые заросшие; 9 – сплошные куртины можжевельника; 10 – пойма р. Дона; 11 – долина и конус выноса балки Паницкой; 12 – гослесополоса; 13 – ландшафтно-экологические профили АВ и ВГ



Рисунок 3. Современные грядовые незаросшие пески в районе х. Вилтово. Фото 2014 г., июнь

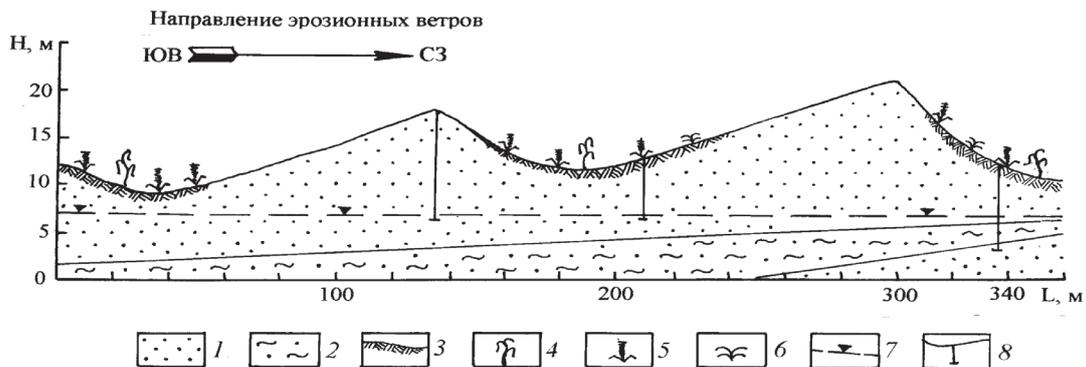


Рисунок 4. Часть ландшафтно-экологического инструментального профиля АВ через участок грядовых песков: 1 – песок; 2 – суглинок; 3 – почвенно-растительный покров; 4 – ива розмаринолистная; 5 – овес песчаный; 6 – можжевельник казацкий; 7 – уровень ГВ (УГВ); 8 – буровые скважины

На АФС четко отражаются все стадии зарастания песков и характер формирующегося рельефа (рис. 3 и 4). Грядовые пески занимают центральную часть ключевого участка 1. Гряды высотой 7-9 м и протяженностью до 3 км располагаются перпендикулярно юго-восточным ветрам. Вершины и частично склоны гряд совершенно лишены почвенно-растительного покрова. Межгрядовые понижения в связи с лучшей водообеспеченностью имеют маломощный почвенный покров, соответствующий примитивным песчаным почвам. Гумусовый горизонт 2-6 см. Травянистая растительность состоит из раkitника, ивы красной и розмаринолистной, можжевельника казацкого и др. ГВ залегают на глубине 4-5 м в межгрядовых и межбугровых понижениях. Минерализация ГВ менее 1 г/л. На АФС гряды изображаются полосами светлого тона. Между ними располагаются серые полосы межгрядовых понижений с характерными, резко очерченными участками кустарниково-травянистой растительности.

Бугристые незаросшие и слабозаросшие пески, выделенные по КС, представляют собой комплекс с преобладанием слабозаросших. На АФС выделяются участки среднебугристых незаросших и слабозаросших песков, в которые вклиниваются участки среднебугристых среднезаросших.

Ландшафтно-экологический инструментальный профиль АБ проложен через незаросшие грядовые пески в направлении СЗ-ЮВ и пересекает вторую надпойменную террасу Дона (рис. 5). На протяжении 200 м рельеф спокойный. Толща кварцевого песка от 2 до 5 м лежит на мощном слое суглинка, поверх которого скапливаются ГВ. Растительность этого участка – преимущественно можжевельник казацкий и эфемеры. Изредка встречаются кусты полыни песчаной и раkitника русского.

Почвенный покров представлен молодыми примитивными песчаными почвами, периодически развеваемыми. Гумусовый горизонт до 5 см. Пробуренные скважины и электрометрия не показывают какого-либо существенного засоления грунтов (менее 0,02%), лишь в слое суглинка отмечается более высокое количество растворимых

солей (до 0,08%), а удельная электропроводность возрастает до 0,62 см. Далее по профилю расчлененность рельефа увеличивается, появляются вначале невысокие (до 2-5 м) бугры и гряды, которые затем переходят в крупные гряды высотой до 6-7 м, строго ориентированные поперек юго-восточных ветров.

На участке профиля протяженностью 600 м гряды чередуются с межгрядовыми понижениями, где в результате лучшего увлажнения формируется более развитый почвенно-растительный покров. Однако ГВ располагаются глубже 10 м и в условиях плотных кварцевых песков недоступны для древесно-кустарниковой растительности.

Начало грядовых песков является началом второй надпойменной террасы. Далее высота рельефа постепенно уменьшается и грядовые пески переходят в барханные, лишенные растительности с отдельными куртинами можжевельника казацкого. Второй профиль (ВГ) проложен с юга на север в восточной части ключевого участка 1 (рис 6).

Он начинается в перевеваемых грядовых песках (абсолютная отметка 72 м) второй надпойменной террасы Дона. Пески в основном лишены растительного покрова, только по понижениям встречаются кустарники раkitника и эфемеры (костер, мятлик, бурачок и др.), а по отдельным вершинам и склонам гряд – овес песчаный. Далее расчлененность рельефа плавно понижается, увеличивается степень зарослости (за счет можжевельника) и профиль выходит на веерообразные ложбины конуса выноса балки Паницкой. Здесь складываются более благоприятные фитоэкологические условия, прежде всего, за счет дерново-степных связнопесчаных почв и близости ГВ. Появляется древесная (тополь белый, клен татарский, ива красная) и степная травянистая (житняк, пырей, полынь белая и песчаная, осока колхидская, тысячелистник и др.) растительность. Далее идет участок крупно- и среднебугристых незаросших, слабозаросших и заросших можжевельником песков, пересекающихся ложбинами стока балки. Следует отметить это место как уникальный объект с куртинами можжевельника казацкого, достигающими в диаметре 20-30 м и иногда сплошь покрывающими пески (рис. 7).

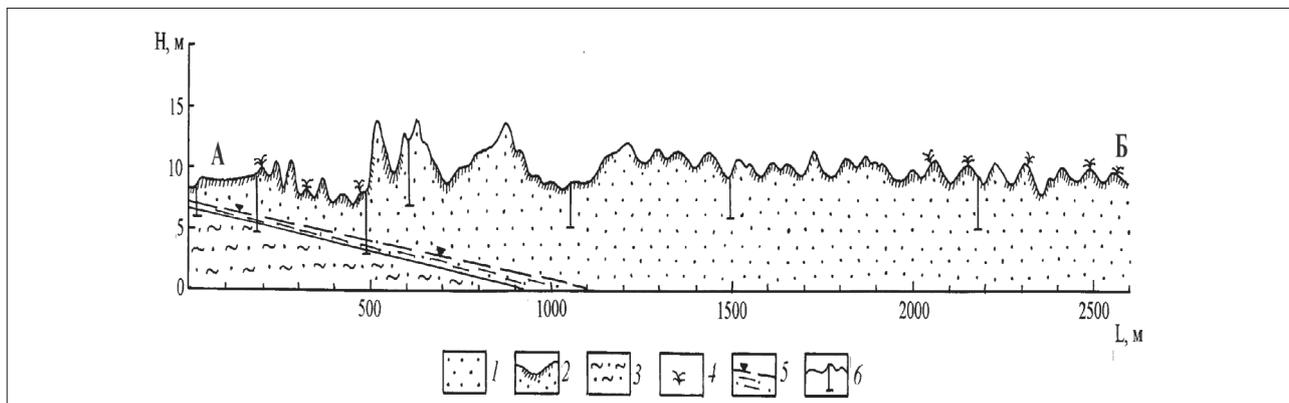


Рисунок 5. Ландшафтно-экологический профиль АБ через ключевой участок «Вилтов»: 1 – песок; 2 – примитивные песчаные почвы; 3 – суглинок; 4 – можжевельник казацкий; 5 – УГВ; 6 – скважины

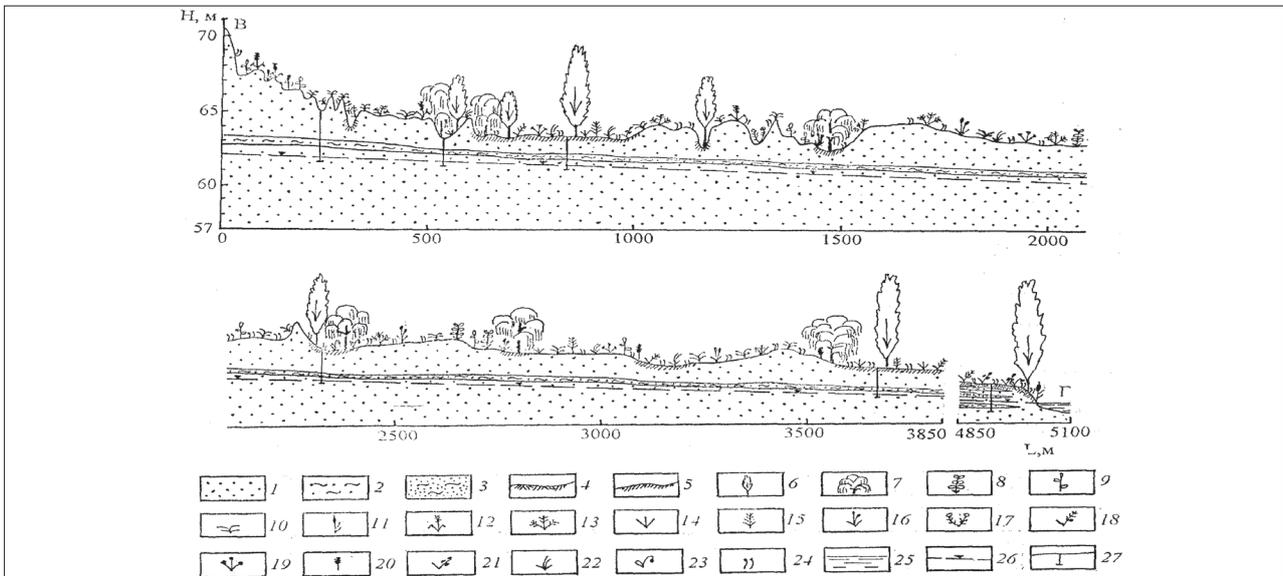


Рисунок 6. Ландшафтно-экологический инструментальный профиль ВГ через ключевой участок «Вилтов»: 1 – песок, 2 – суглинок, 3 – супесь; 4 – пойменные, 5 – примитивные песчаные почвы; 6 – тополь, 7 – ива красная, 8 – аморфа, 9 – ракитник русский, 10 – можжевельник казацкий, 11 – тростник, 12 – овес песчаный, 13 – полынь песчаная, 14 – полынь белая, 15 – тысячелистник, 16 – типчак, 17 – цмин песчаный, 18 – житняк, 19 – молочай, 20 – осока колхидская, 21 – пырей, 22 – ковыль, 23 – луговая растительность, 24 – эфемеры; 25 – озеро; 26 – УГВ; 27 – скважины



Рисунок 7. Куртины можжевельника казацкого на бугристых песках ключевого участка «Вилтов». Фото 2013 г., июнь

Остальная растительность типичная для деградированной песчаной степи, о чем свидетельствует обилие молочая, эфемеров и ковыля. Вторая терраса небольшим уступом переходит в пойму Дона, где уже развита типично пойменная растительность, носящая следы остепнения, особенно в контактной зоне со второй террасой. Завершается профиль урезом пойменного озера с абсолютной отметкой 58,5 м.

Проведенными исследованиями установлено, что зарастание разбитых песков проходит определенные стадии, характеризующиеся закономерной сменой растительных ассоциаций, обусловленной степенью развития дефляционных процессов, минеральным составом песков, климатическими особенностями и другими факторами [4,17].

Кварцевые пески Среднего Дона зарастают в следующей последовательности: 1) появление отдельных куртин псаммофитов – овес песчаный, ракитник, пырей пушистоцветковый – с общим покрытием менее 5%; 2) развитие равномерного

разреженного покрова – полынь песчаная, ракитник, осока колхидская, вейник наземный, чабрец душистый, овес песчаный – с общим покрытием до 30%; 3) отмирание псаммофитов и формирование песчаной степи – типчак, тонконог, лапчатка песчаная, молочай Сегье, полынь Маршалла, цмин песчаный, юринея, – покрытие до 60%. В соответствии с указанными стадиями зарастания изменяется тон фотоизображения поверхности от светлого до серого, что является характерным дешифровочным признаком степени зарастенности песков [10].

Тенденция зарастания Арчединско-Донского массива обусловлена тремя факторами. Первый – ограничение разрушительного антропогенного воздействия на пески; вызван оттоком сельского населения в города, поселки, центральные усадьбы сельскохозяйственных предприятий. В связи с этим резко сократилось число хуторов, уменьшилось количество дорог, снизилась нагрузка на пастбища.

Второй – увеличение количества выпадающих осадков, происшедшее в этом регионе в последние 40 лет вследствие общего увлажнения климата на юго-востоке европейской части России. Так, по данным Волгоградской гидрометеобсерватории, количество атмосферных осадков в этом районе по сравнению со средними многолетними показателями увеличилось в Иловле с 385 до 404 мм, Михайловке с 431 до 462 мм, Фролове с 394 до 428 мм, Серафимовиче с 402 до 460 мм, Калаче с 395 до 429 мм. То есть в среднем на данном массиве увеличилось на 35 мм количество осадков, что заметно улучшило фитоэкологические условия и выражается прибавкой урожая трав на песках сухостепной зоны на 2 ц/га [13]. Это неизбежно приводит к усилению процесса зарастания разбитых

песков. Однако имеются и негативные последствия этого процесса, выражающиеся в резком повышении УГВ, особенно в межбугровых понижениях. На сотнях гектаров колковые леса из березы, ольхи, сосны вымокли. Лесные фитоценозы сменились лугово-болотными [10].

Третий фактор – широкая, планомерная лесомелиорация. Там, где лесомелиоративные мероприятия осуществляются с учетом фитоэкологических условий, зарастание песков проходит в 2-3 раза быстрее естественных процессов [14,15].

Анализ АФС показывает, что посадки сосны на Арчединско-Донских средне-бугристых разбитых и слабозаросших песках в центральной части массива, проведенные в конце 50-х – начале 60-х годов XX столетия, превратили эту территорию в заросшие пески уже к 1976 г. Участки таких же песков без лесомелиорации только к 1981 г. превратились в слабо- и среднезаросшие. Отдельные вспышки дефляции здесь приурочены к местам концентрации скота, прокладке коммуникаций, дорогам и имеют ограниченный характер. Тем не менее следует учитывать, что интенсификация сельского хозяйства без учета фитоэкологических условий неизбежно приведет к усилению процесса опустынивания этого массива. Изучение площади песков по АКС за период 1961-2018 гг. на ключевом участке «Вилтов» показало существенные изменения некоторых типов (табл. 1, рис. 8).

Установленные достаточно точно границы и площади типов песков в различные временные периоды убедительно показывают связь сукцессий и изменений почвенно-морфологических условий с климатом и антропогенной нагрузкой. В этой связи важно проследить, как в разные периоды времени осуществлялись взаимные переходы типов песков друг в друга и при этом выявить тренд дальнейших изменений экосистемы, то есть осуществлять прогнозирование. Для этих целей были построены матрицы переходов типов песков в периоды наблюдений [3,12].

В дальнейшем для изучения экосистемы в целом, будет применяться математическое моделирование системы S и взаимодействующих элементов S_p, которые реализуются согласно созданной

модели и матрицам переходов разных типов песков друг в друга в различные временные интервалы (рис. 9). При этом необходимо получить количественные показатели переходов по 24 направлениям для данного ключевого участка. Это позволит сформировать математическую модель динамики процессов изменения экосистемы. Данная методика может применяться и на другие ключевые участки [21]. Также будет осуществляться привязка количественных значений переходов типов песков к климатическим показателям и антропогенным воздействиям на экосистему, что даст возможность обосновать прогноз развития на краткосрочный и долгосрочный периоды.

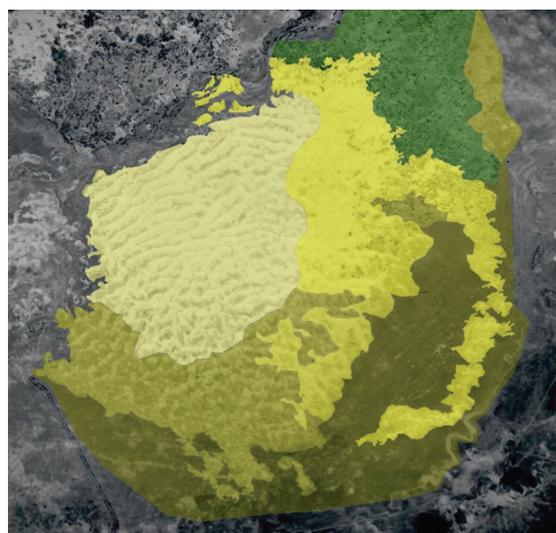
Заключение. Выделены ландшафтные комплексы Арчединско-Донских песков: 1 – бугристо-барханные незаросшие и слабозаросшие, 2 – бугристые среднезаросшие и заросшие, 3 – грядово-бугристые пески; 4 – пологоволнистая песчаная равнина; 5 – крупные депрессии; 6 – плоская супесчаная равнина.

По степени покрытия растительностью выделяют пески незаросшие (разбитые), на которых имеются единичные растения или небольшие куртины, занимающие до 10% площади; слабозаросшие с частыми очагами дефляции, покрытие растительностью 10-30%; среднезаросшие с единичными очагами дефляции, растительностью занято 30-50% площади; заросшие без очагов дефляции с покрытием растительностью более 50% площади.

Зарастание разбитых песков проходит определенные стадии, характеризующиеся закономерной сменой растительных ассоциаций, обусловленной степенью развития дефляционных процессов, минеральным составом песков, климатическими особенностями и другими факторами. Пески Среднего Дона зарастают в следующей последовательности: 1) появление отдельных куртин псаммофитов – с общим покрытием менее 5%; 2) развитие равномерно разреженного покрова – с общим покрытием до 30%; 3) отмирание псаммофитов и формирование песчаной степи – покрытие до 60%. В соответствии с указанными стадиями зарастания изменяется тон фотоизображения поверхности от светлого до серого, что является характерным дешифровочным признаком степени зарастенности песков.

Таблица 1. Динамика площади (км²) типов песков на ключевом участке «Вилтов»

№ п/п	Тип песков	Годы					
		1961	1968	1977	1987	2011	2018
1	Пески грядовые современные незаросшие	12,00	12,73	16,95	17,56	12,86	13,08
2	Крупно - и среднебугристые незаросшие обарханные с отдельными куртинами можжевельника	17,85	18,45	16,69	15,12	14,21	15,59
3	Крупно - и среднебугристые, заросшие можжевельником	7,16	7,42	7,92	8,63	8,63	8,69
4	Среднебугристые средне - и слабозаросшие	4,46	4,33	2,85	3,37	7,58	8,12
5	Среднебугристые заросшие	14,28	13,14	12,19	13,93	11,63	10,92
6	Пологобугристые заросшие	14,28	13,14	12,19	13,93	11,63	10,92
7	Долина и конус выноса балки Паницкой	5,67	5,70	5,83	5,58	4,28	4,26
	ИТОГО:	82,96	82,96	82,96	82,96	82,96	82,96



- 1 Пески грядовые современные незаросшие
- 2 Среднебугристые средне- и слабозаросшие
- 3 Крупно- и среднебугристые незаросшие обарханенные с отдельными куртинами можжевельника
- 4 Среднебугристые заросшие
- 5 Крупно- и среднебугристые заросшие можжевельником
- 6 Пологобугристые заросшие

Рисунок 8. Состояние ключевого участка «Вилтов» на АФС 1987 г. (легенда представлена на рис.9)

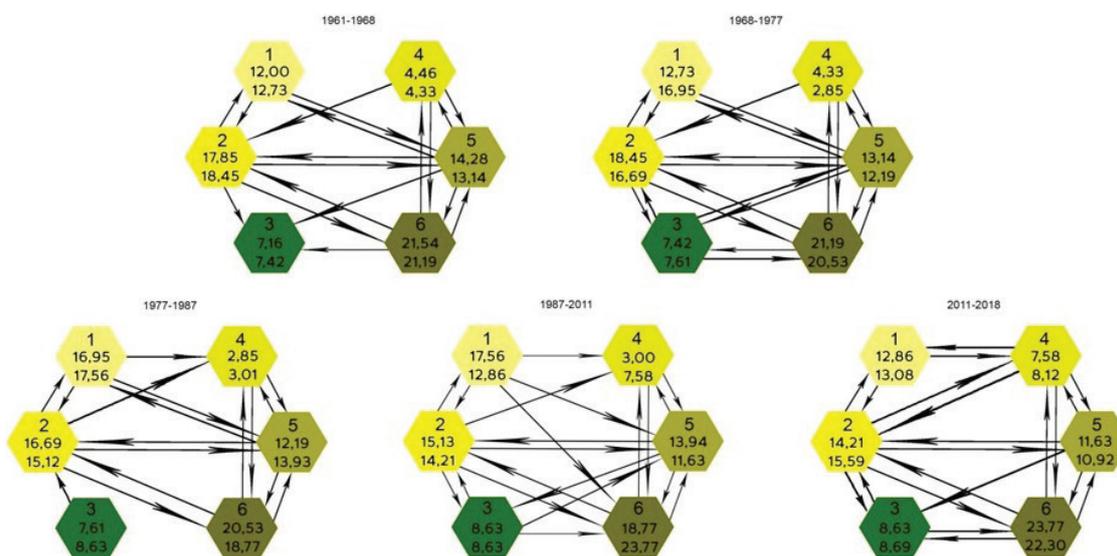


Рисунок 9. Динамика площади типов песков на ключевом участке «Вилтов»

Таким образом, определилась направленность специфики зарастания Арчединско-Донского массива. Данный процесс обусловлен рядом причин. Во-первых, снижение фактора воздействия антропогенного пресса на пески вследствие миграции населения в более крупные населенные пункты. Во-вторых, повышение показателя количества осадков за 40-летний период в результате увлажнения юго-восточной части европейской территории России. В-третьих, проведение регулярной лесомелиорации.

Установленные границы и площади типов песков в различные временные периоды показали связь сукцессий и изменений почвенно-морфологических условий с климатическими факторами и прямым или косвенным воздействием человека. По этой причине целесообразно и необходимо проводить исследования и фиксировать изменения, происходящие в результате смены типов песков с целью дальнейшего прогнозирования территории.

Литература:

1. Бородычев В.В., Власенко М.В., Кулик А.К. Сезонные изменения кормовой продуктивности аридных пастбищ

// Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 1 (61). С. 14–24. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-01

2. Бородычев В.В., Кулик А.К., Кулик Н.Ф. Неистощительное водопитание и опреснение речных вод донского региона // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 3(51). С. 26-34.

3. Виноградов Б. В., Кошель С. М., Кулик К. Н. Прогнозирование пространственно-временной динамики экосистем методом универсального кригинга // Экология. 2000. № 5. С. 323–332.

4. Власенко М.В., Кулик А.К. Флористическое разнообразие сообществ полынно-злаковой степи Калачевско-Голубинского песчаного массива Волгоградской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 1 (65). С. 99–111.

5. Гаель А.Г., Смирнова Л.Ф. Влияние деятельности ветра на водно-физические свойства почв Доно-Арчединского песчаного массива // Эрозия почв и русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1973. Вып.3. С. 6–22.

6. Гаель А.Г., Смирнова Л.Ф. Пески и песчаные почвы.

М.: ГЕОС, 1999. 252 с.

7. Гаель А.Г., Трушковский А. Л. Возраст и классификация почв на эоловых песках степной зоны // Изв. АН СССР, сер. Геогр. 1962. № 4. С. 28–42.

8. Грищенко М.П. Неогеновые и четвертичные террасы Дона // Бюллетень МОИП, отд. геол. 1939. Т. XVII(б). С. 68–96.

9. Кулик А.К., Балкушкин Р.Н. Типы водного режима песчаных массивов реки Дон // Аридные экосистемы. 2022. Т. 28. № 4 (93). С. 37–45.

10. Кулик К.Д. Анализ динамики почвенно-растительного покрова Арчедино-Донских песков // Современные проблемы изучения почвенных и земельных ресурсов. 2022. С. 51–59.

11. Кулик К.Н. Агроресомелиоративное картографирование и фитоэкологическая оценка аридных ландшафтов. Волгоград: изд. ВНИАЛМИ, 2004. 248 с.

12. Кулик К.Н., Салугин А.Н. Моделирование дефляции аридных пастбищ с помощью марковских цепей // Экосистемы: экология и динамика. 2017. № 1(4). С. 5–22.

13. Кулик Н.Ф. Водный режим песков аридной зоны. Л.: Гидрометеоздат, 1979. 280 с.

14. Манаенков, А. С. Лесомелиорация арен засушливой зоны / А. С. Манаенков. – 2-е издание переработанное и дополненное. – Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2018. 428 с.

15. Мелиоративная эффективность кустарниковых кулис на аридных пастбищах юга России / Н. В. Тютюма [и др.] // Аридные экосистемы. 2020. Том 26. № 1 (82). С. 62–68.

16. Польшов Б.Б. Географические работы. М.: Географиздат, 1952. 399 с.

17. Справочник агроресомелиоратора / Под ред. канд. с.-х. наук А. Ф. Калашникова; Всесоюз. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. Отд-ние лесоводства и агроресомелиорации. Москва: Лесная пром-сть, 1971. 270 с.

18. Физико-географическое районирование СССР. Характеристика региональных единиц / Под ред. Н. А. Гвоздецкого. М.: Изд-во МГУ, 1968. 576 с.

19. Bachmair S., Kohn I., Stahl K. Exploring the link between drought indicators and impacts. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2015. Vol. 15. P.1381-1397.

20. Bai Z.G., Dent D.L., Olsson L. and Schaepman ME. Global assessment of land degradation and improvement. 1. Identification by remote sensing. Report 2008/01, ISRIC – World Soil Information, Wageningen, 2008.

21. Salugin A.N., Vlasenko M.V. Mathematical models of the dynamic stability of arid pasture ecosystems in the south of Russia. *Agronomy*. 2022. 12(6). pp. 1448. DOI: 10.3390/agronomy12061448

22. Singh A. Digital Change detection techniques using remotely sensed data. *Internal. J. Remote Sensing*. 1989. V. 10. № 6. p. 989-1003.

DOI: 10.34736/FNC.2023.120.1.005.28-37

Analysis and Dynamics of the Archeda-Don Interfluvial Sands Phytoecological Conditions from a Long Series of Aerospace Images

Konstantin N. Kulik^{1,3} acad. RAS, Dr. Sci. (Agr.), ORCID 0000-0001-7124-8116

Konstantin D. Kulik², ORCID 0000-0002-3121-8075

Alexander S. Khnykin¹ ORCID 0000-0001-8577-1960

Elizaveta S. Slaykovskaya^{1,3} ORCID 0000-0001-6799-5418, slaykovskaya02@mail.ru

¹Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (FSC of Agroecology RAS), e-mail: nfo@vfanc.ru, 400062, Universitetskiy Avenue, 97, Volgograd, Russia

²Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK), e-mail: kulik.k2000@gmail.com, 105064, Gorokhovskiy Lane, 4, Moscow, Russia

³Volgograd State University, e-mail: rector@volsu.ru, 400062, Universitetskiy Prospekt, 100, Volgograd, Russia

Abstract. The paper presents the result of the analysis of Archeda-Don interfluvial sands (Volgograd region) aerospace images (ASI), taken from 1961 to 2018. For survey mapping, satellite images (SI) M 1:1000000 were used, which increased to a working M 1:250000 and were used in field work. According to the decoding signs (tone and pattern of the photo image), landscape complexes of sands are distinguished: 1 – hilly-barkhane ungrown and lightly overgrown, 2 – hilly medium-grown and overgrown, 3 – ridge-hilly sands; 4 – gently undulating sandy plain; 5 – large depressions; 6 – flat sandy loam plain. For detailed mapping and field work on test (key) sites, M 1:100000 photo schemes, M 1:50000-1:25000 aerial photographs (AFS), enlarged to working M 1:30000-1:10000 and larger, high-resolution spectrosonal and multizonal SI were used. The comparison of the images shows the relative stability of the medium-hilly part of the massif overgrowth processes and

the slow waving of coarse-hilly sands in its central part, which is associated with climate change and the intensity of anthropogenic impact on the ecosystem. The boundaries and areas of sand types for 60 years, in various time periods, have been established on the «Viltov» key section. For these purposes, sand types transitions matrices into each other in 24 directions were constructed and their quantitative indicators were obtained. They show a clear connection of successions and changes in the sandy massif morphology and phytoecology with the climate and anthropogenic load. This methodological approach will make it possible to further form a mathematical model of dynamics and forecast the degradation and restoration processes in the ecosystem.

Keywords: Archeda-Don interfluvial sands, sandy lands, aerospace images, phytoecological conditions

Funds. The work was carried out in accordance with the plan of the state task «Development of a new

methodology for optimal management of biological resources in agricultural landscapes of the arid zone of the Russian Federation using system-dynamic modeling of soil-hydrological processes, a comprehensive assessment of the climate change and anthropogenic loads impact on agrobiological potential and forest conditions» (No. FNFE-2022-0011).

Citation. Kulik K.N., Kulik K.D., Khnykin A.S., Slaykovskaya E.S. Analysis and Dynamics of the Archeda-Don Interfluvial Sands Phytoecological Conditions from a Long Series of Aerospace Images. *Scientific Agronomy Journal*. 2023. 1(120). pp. 28-37. DOI: 10.34736/FNC.2023.120.1.005.28-37

Received: 11.01.2023

Accepted: 14.03.2023

References:

1. Borodychev V.V., Vlasenko M.V., Kulik A.K. *Sezonnye izmeneniya kormovoy produktivnosti aridnykh pastbishch* [Seasonal changes in forage productivity of arid pastures]. *Proceedings of the Lower-Volga Agronomy Complex: Science and higher professional education*. 2021. No. 1 (61). pp. 14-24. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-01
2. Borodychev V.V., Kulik A.K., Kulik N.F. *Neistoshchitel'noe vodopitanie i opresnenie rechnykh vod donskogo regiona* [Inexhaustible water supply and desalination of river waters in the Don region]. *Proceedings of the Lower-Volga Agronomy Complex: Science and higher professional education*. 2018. No. 3(51). pp. 26-34.
3. Vinogradov B. V., Koshel S. M., Kulik K. N. *Prognozirovaniye prostranstvenno-vremennoy dinamiki ekosistem metodom universal'nogo kriginga* [Forecasting of spatial and temporal dynamics of ecosystems by universal kriging method]. *Ecology*. 2000. No. 5. pp. 323-332.
4. Vlasenko M.V., Kulik A.K. *Floristicheskoe raznoobrazie soobshchestv polynno-zlakovoy stepi Kalachevsko-Golubinskogo peschanogo massiva Volgogradskoy oblasti* [Floristic diversity of communities of the sagebrush-grass steppe of the Kalachevsko-Golubinsky sandy massif of the Volga-Gradskaya region]. *Proceedings of the Nizhnevolzhsky agrouniversitetskiy complex: Science and Higher professional education*. 2022. No. 1 (65). pp. 99-111.
5. Gael A.G., Smirnova L.F. *Vliyaniye deyatelnosti vetra na vodno-fizicheskie svoystva pochv Dono-Archedinskogo peschanogo massiva* [Influence of wind activity on water-physical properties of the Don-Archeda interfluvial sand massifs]. *Eroziya pochv i ruslovyye protsessy* [Soil erosion and riverbed processes]. Publishing House of Moscow State University, 1973. Issue 3. pp. 6-22.
6. Gael' A.G., Smirnova L.F. *Peski i peschanye pochvy* [Sands and sandy soils]. Moscow. GEOS Publ. house. 1999. 252 p.
7. Gael' A.G., Trushkovskiy A. L. *Vozrast i klassifikatsiya pochv na eolovyykh peskakh stepnoy zony* [Age and classification of soils on aeolian sands of the steppe zone]. *Proceedings of AS USSR, Geogr.series*. 1962. No. 4. pp. 28-42.
8. Grishchenko M.P. *Neogenovye i chetvertichnye terrasy Dona* [Neogene and quaternary terraces of the Don]. *Bulletin of MSoNT, geography. Dept.* 1939. Vol. XVII(b). pp. 68-96.
9. Kulik A.K., Balkushkin R.N. *Tipy vodnogo rezhima peschanykh massivov reki Don* [Types of water regime of the Don river sandy massifs]. *Arid ecosystems*. 2022. T 28. No. 4 (93). pp. 37-45.
10. Kulik K.D. *Analiz dinamiki pochvenno-rastitel'nogo pokrova Archedo-Donskikh peskov* [Soil and vegetation cover of the Archeda-Don interfluvial sands dynamics analysis]. *Sovremennyye problemy izucheniya pochvennykh i zemel'nykh resursov* [Contemporary problems of studying soil and land resources]. 2022. pp. 51-59.
11. Kulik K.N. *Agrolesomeliativnoye kartografirovaniye i fitoekologicheskaya otsenka aridnykh landshaftov* [Agroforestry mapping and phytoecological assessment of arid landscapes]. Volgograd. 2004. 248 p.
12. Kulik K.N., Salugin A.N. *Modelirovaniye deflyatsii aridnykh pastbishch s pomoshch'yu markovskikh tsepej* [Arid pastures deflation modeling using Markov chains]. *Ecosystems: ecology and dynamics*. 2017. No. 1(4). pp. 5-22.
13. Kulik N.F. *Vodnyy rezhim peskov aridnoy zony* [The water regime of the arid zones sands]. Leningrad. "Gidrometeoizdat" Publ. house. 1979. 280 p.
14. Manaenkov A.S. *Lesomeliatsiya aren zasushlivoj zony* [Forest reclamation of arid zone arenas]. 2nd edition revised and supplemented. Volgograd. FSC of agroecology RAS Publ. house. 2018. 428 p.
15. Tyutyuma N.V. et al. *Meliorativnaya effektivnost' kustarnikovyykh kulis na aridnykh pastbishchakh yuga Rossii* [Meliorative efficiency of shrubby coulisses on the south of Russia arid pastures]. *Arid ecosystems*. 2020. Vol. 26. No. 1(82). pp. 62-68.
16. Polynov B.B. *Geograficheskie raboty* [Geographical works]. Moscow. "Geografiya" Publ. house. 1952. 399 p.
17. *Spravochnik agrolesomeliatora* [Handbook of agroforestry meliorator]. Edited by Candidate of Agricultural Sciences A. F. Kalashnikov; All-Union. Academy of Agricultural Sciences named after V. I. Lenin. Department of forestry and agroforestry. Moscow. *Lesnaya promyshlennost'* Publ. house. 1971. 270 p.
18. *Fiziko-geograficheskoye rajonirovaniye SSSR. Kharakteristika regional'nykh edinits* [Physical and geographical zoning of the USSR. Characteristics of regional units]. Edited by N. A. Gvozdetzky. Moscow. Publishing house of MSU. 1968. 576 p.
19. Bachmair S., Kohn I., Stahl K. Exploring the link between drought indicators and impacts. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2015. Vol. 15. P.1381-1397.
20. Bai Z.G., Dent D.L., Olsson L. and Schaeppman ME. Global assessment of land degradation and improvement. 1. Identification by remote sensing. Report 2008/01, ISRIC – World Soil Information, Wageningen, 2008.
21. Salugin A.N., Vlasenko M.V. Mathematical models of the dynamic stability of arid pasture ecosystems in the south of Russia. *Agronomy*. 2022. No. 12(6). pp. 1448. DOI: 10.3390/agronomy12061448
22. Singh A. Digital Change detection techniques using remotely sensed data. *Internal. J. Remote Sensing*. 1989. V. 10. No. 6. p. 989-1003.

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Author's contribution. Authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. Authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. Authors declare no conflict of interest.