

DOI 10.31029/vestdnc89/3

УДК 631.4

## **ФИЗИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОПУСТЫНЕННЫХ АНТРОПОГЕННО ПРЕОБРАЗОВАННЫХ ПЕСЧАНЫХ ПОЧВ АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ**

**А. В. Федотова**, ORCID 0000-0003-0241-1797

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций  
и защитного лесоразведения Российской академии наук  
(ФНЦ агроэкологии РАН), Волгоград, Россия

## **THE PHYSICAL STATE OF DESERTIFIED ANTHROPOGENICALLY TRANSFORMED SANDY SOILS OF THE ASTRAKHAN REGION**

**A. V. Fedotova**, ORCID 0000-0003-0241-1797

Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration  
and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences  
(FSC of Agroecology RAS), Volgograd, Russia

Аннотация. В данной работе изучено современное физическое состояние опесчаненных аллювиальных почв, распространенных в Астраханской области, которые сформировались при понижении уровня воды в водотоках дельты Волги из-за понижения уровня Каспийского моря. Исследование показало, что физическое состояние данного комплекса почв оценивается как плохое, а в непосредственной близости от песчаного массива как очень плохое, где почва имеет неудовлетворительное структурное состояние, улучшающееся с увеличением расстояния. В профиле повсеместно с глубины около 10 см выявлены очень плотные трещиноватые слои. Установлено крайне низкое влагообеспечение, при котором влажность почв находится на уровне гигроскопической. Интенсивное развитие деградационных процессов, дефицит почвенной влаги способствуют прогрессирующему опустыниванию почв.

Abstract. The article studies the current physical state of the sandy alluvial soils prevalent in the Astrakhan region which were formed during the decrease of water level in the watercourses of the Volga delta due to the decrease in the level of the Caspian Sea. The study shows that the physical condition of this complex of soils is assessed as poor and in the immediate vicinity of the sandy massif as very poor, where the soil has an unsatisfactory structural condition, which improves with increasing distance. In the profile the very dense fractured layers are found everywhere from the depth of about 10 cm. Extremely low moisture content, at which soil moisture is at the hygroscopic level. The intensive development of degradation processes, the lack of soil moisture contribute much to the progressive desertification of soils.

Ключевые слова: аллювиальные почвы, физические свойства почв, опустынивание, сопротивление пенетрации, плотность почвы, структурное состояние.

Keywords: alluvial soils, soil physical properties, desertification, penetration resistance, soil density, structural state.

### **Введение**

Первые упоминания о песчаных почвах близ Каспия на Нижней Волге появились в середине XV в. благодаря путешествию Афанасия Никитина в Индию. В XVI–XVII вв. встречаются единичные сведения по распространенности песчаных участков, в том числе и в Астраханской области [1]. Эти первые исследования были посвящены природным песчаным массивам и песчаным почвам. К сожалению, в настоящее время увеличиваются площади антропогенных песчаных массивов, насыпных или намывных, образовавшихся в результате хозяйственной деятельности человека [2, 3]. Покрытые песками участки являются бесплодными, так как такая почва имеет низкое содержание тонкодисперсных частиц и органического вещества [4]. Появление подобных участков означает деградацию почвы и увеличивает площади опустыненных территорий.

Астраханская область в силу своего географического положения и почвенно-климатических условий относится к экологически напряженным регионам [5]. Функционирование почвенных комплексов осложняется процессами засоления и опустынивания [6, 7]. Антропогенное преобразование ландшафтов становится одним из важных факторов развития деградации и опустынивания почв [8].

Оценка почвенных свойств и режимов, определяющих функционирование песчаных почв, имеет важное значение для прогнозирования дальнейшей эволюции опустыненных ландшафтов и непосредственно влияет на экологическую и экономическую устойчивость засушливых регионов мира [9]. Кроме того, крайне актуален вопрос о целесообразности восстановления почв подобных ландшафтов для возвращения в хозяйственную деятельность.

Целью данной работы явилось изучение физического состояния антропогенно измененных песчаных аллювиальных дельтовых почв Астраханской области в условиях опустынивания. В задачи настоящего исследования входило изучение особенностей морфологического строения песчаных почв; изучение базовых физических свойств; оценка состояния и выявление закономерностей изменения базовых физических свойств почв в ландшафте.

### **Объекты и методы**

Исследования проводились в Приволжском районе Астраханской области, наиболее приближенном к городской агломерации г. Астрахани. В качестве объекта исследования выбран дельтовый аллювиальный антропогенно измененный ландшафт, расположенный восточнее п. Начало, включающий наносные многолетние (около 80 лет) песчаные массивы. В настоящее время на выбранной территории никакой хозяйственной деятельности не ведется. Почвенный покров представлен аллювиальными дельтовыми почвами (Calcaric Fluvisols) [10, 11], перекрытыми наносным песчаным слоем. Состав растительности характеризуется пустынной флорой, роль которой в процессах гумусообразования сильно ограничена (тамарикс, полынь, мелколепестник канадский, верблюжья колючка и др.). Проективное покрытие в пределах ландшафта от 5 до 30%. Грунтовые воды залегают на глубине более 3 м и не оказывают существенного влияния на процессы почвообразования в данном ландшафте. Территория осложнена антропогенным карьером для изъятия материала населением.

Исследование территории проводили по катене с началом на вершине наносного бугра, вдоль образовавшегося карьера. Через каждые 10 м были заложены почвенные разрезы, на которых проведено морфологическое изучение почвенного профиля, полевые определения базовых физических свойств и отобраны почвенные пробы для проведения лабораторных анализов. Статистическая обработка данных производилась в среде программирования R.

Для удобства интерпретации результатов и с учетом морфологического строения профиля определение физических свойств проводили с поверхности (0 см) и на глубинах 10, 40, 60 и 80 см. Исследования физических свойств проводили общепринятыми в почвоведении методами. Плотность почвы ( $\rho_b$ ) определялась буровым методом с использованием бура Качинского объемом 100 см<sup>3</sup>, влажность (W) – термостатно-весовым методом. Структурное состояние изучалось методом сухого просеивания по Савинову. Наличие карбонатов фиксировали по реакции на 10%-й раствор HCl [12]. Сопротивление пенетрации измеряли пенетрометром статистического действия ПСГ-МП4.

Для оценки физического состояния почвы использовали нормативы изменения физических свойств пустынно-степной зоны России в зависимости от характера антропогенного использования [13].

### **Результаты и обсуждение**

Особенностью территории является наличие аллювиально-аккумулятивного песчаного наносного массива, сформировавшегося в виде барханообразного бугра, перекрывающего типичную дельтовую аллювиальную почву. В прошлом веке, несмотря на наличие песчаного наноса, территория использовалась для выращивания пасленовых культур. Если опираться на исследования Б.Б. Полюнова [14], данную форму рельефа можно обозначить как одиночный изолированный останец размывания и развевания, являющийся неподвижным барханообразным бугром, который имеет в своем ядре тот же останец, покрытый слоем нанесенного ветром песка. Материал со временем развевался по территории и переносился на дальние расстояния в результате ветровой эрозии.

Антропогенный карьер в данном случае был использован для изучения пространственного изменения строения профиля и выявления переходов между эволюционными стадиями почв в пространстве.

Морфологический анализ почв данной территории позволил выявить ряд особенностей. Вершина наносной формы рельефа (S0) на протяжении метровой толщи представляет собой бесструктурные песчаные слои, различающиеся по плотности. В профиле присутствуют единичные охристые пятна. Наличие карбонатов зафиксировано с глубины 60 см.

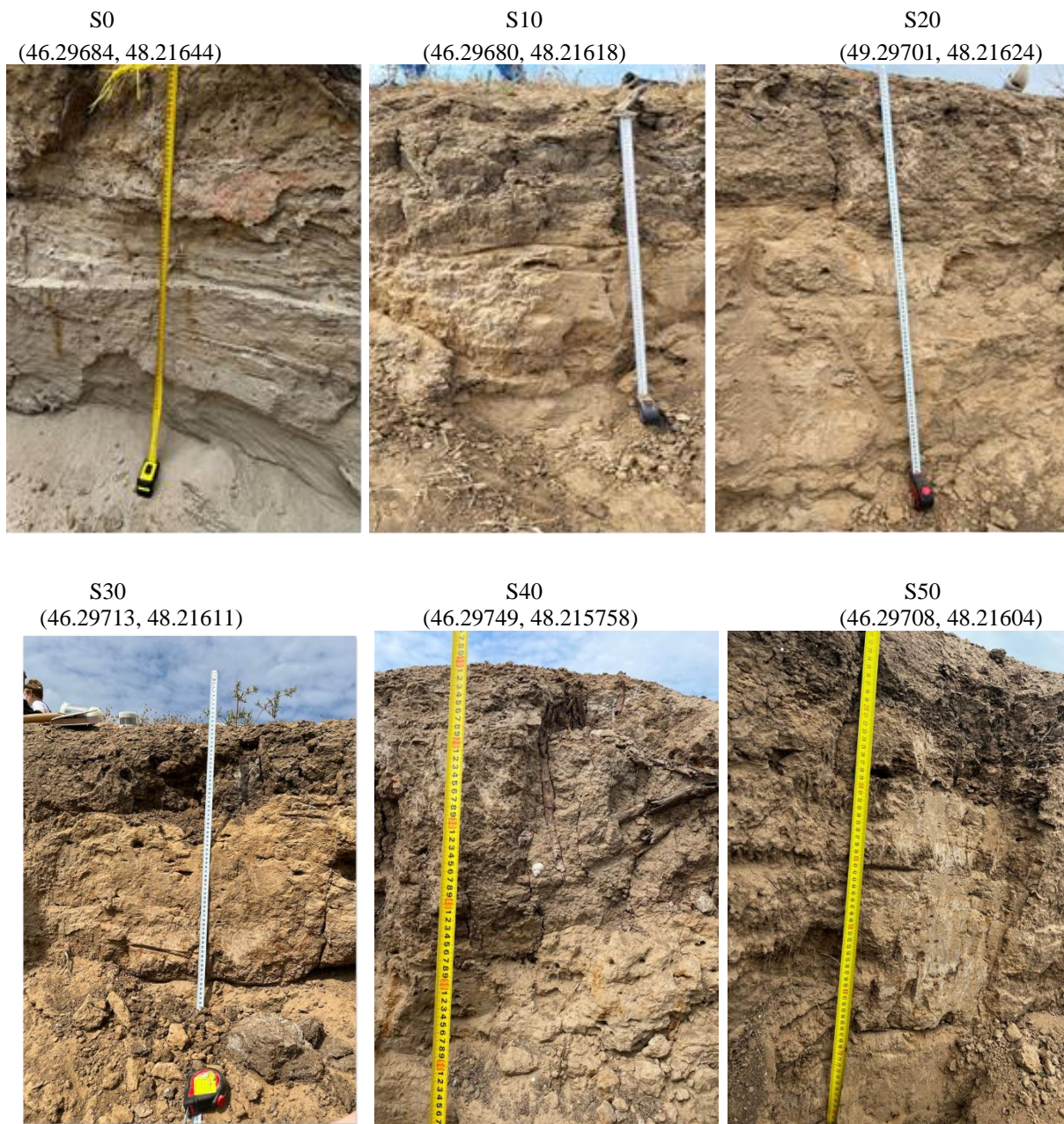


Рис. 1. Почвенные профили объектов исследования

На расстоянии 10 м от вершины (S10) в почвенном профиле выделяются сформировавшиеся генетические горизонты со структурой A0 – A1 – B – BC – C. Мощность A0 составляет 0–2 см с обилием тонких корней. Характерной особенностью является наличие плотного трещиноватого суглинистого слоя (10–30 см) с включениями раковин пресноводных моллюсков (прудовники, затворки,

речные живородки и др.) и речной гальки диаметром до 2 см, что подтверждает аллювиальное почвообразование. Наличие карбонатов наблюдается с глубины 20 см. Здесь далее выделяется старопашотный горизонт.

Далее в целом структура почвенного профиля сохраняется.

На расстоянии 20 м от вершины (S20) мощность A0 незначительно увеличивается (до 3 см). Наличие карбонатов зафиксировано с глубины 6 см. Увеличилась мощность плотного иллювиального слоя (6–33 см). В целом почва оценивается плотнее, чем для S10.

Для расстояния 30 м от вершины (S30) наличие карбонатов фиксируется с поверхности почвы. Ясно выделяется старопашотный слой более темного цвета и пористого сложения. Сложение почвы по профилю оценивается как плотное (плотнее, чем R20). По всему профилю присутствуют трещины от 2 до 5 мм, имеются охристые пятна. Мощность поверхностного слоя с обилием корней составляет 5 см.

Поверхность почвы на расстоянии 40 м (S40) покрыта глинистыми рыхлыми корочками. Сохранен старопашотный слой. В профиле присутствует белоглазка и выцветы солей. С глубины 68 см отмечена песчаная бесструктурная подстилающая порода.

На удалении 50 м от вершины (S50) ясно выделяется старопашотный горизонт (0–23 см), имеющий рыхлое пористое строение с уплотнением к нижней границе. Карбонаты присутствуют с 15 см. Иллювиальный горизонт В плотный, суглинистый, выделяются единичные охристые пятна. Ниже по профилю с глубины 48 см выделяется сухая трещиноватая глинистая прослойка мощностью 4–5 см и постепенный переход к песчаной подстилающей породе.

Важными физическими характеристиками являются плотность и сопротивление пенетрации почвы. Сопротивление пенетрации почв позволяет оценить сопротивление проникновению корней растений и механической обработке, что крайне важно в агрофизическом аспекте. Плотность почвы является определяющей при формировании водного и воздушного режимов.

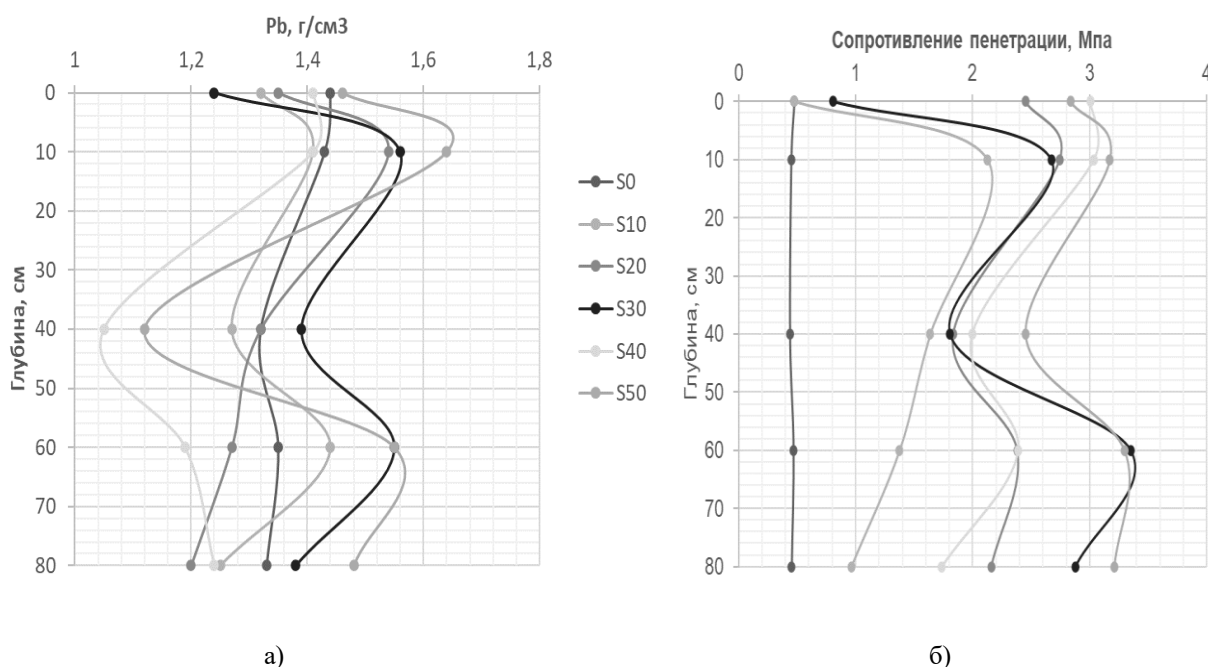


Рис. 2. Профильное распределение величин плотности (а) и сопротивления пенетрации (б) почвы для разных радиусов удаления

Характер изменения плотности почвы (рис. 2а) и сопротивления пенетрации (рис. 2б) по профилю соответствует морфологическим особенностям. Из рис. 2 хорошо видно, что к глубине 10 см

приурочены максимальные величины изучаемых свойств. Потеря влияния грунтовых вод и немногочисленные осадки являются причиной формирования плотного осолонцованного иллювиального горизонта, вступившего в стадию рассоления. Наименьшие величины приурочены к глубине 40 см, что соответствует рыхлому легкосуглинистому слою.

Анализ результатов показал, что существует тенденция увеличения плотности почвы и сопротивления пенетрации с расстоянием от песчаного массива. За исключением участка S0, почвы являются очень плотными (сопротивление пенетрации более 2 МПа). На глубине 10 см почвы участков S40 и S50 оцениваются как очень плотные (более 3 МПа). На глубине 60 см очень плотными являются почвы участков S40 и S50, а для участков S30 и S10 сопротивление пенетрации более 3 МПа и почвы чрезвычайно плотные.

Для установления общих закономерностей изменения физического состояния почвы и ее свойств сравнивали средние выборочные величины свойств в пределах слоя 0–80 см.

Анализ величин гигроскопической и полевой влажности показал (см. таблицу), что влагообеспеченность почвы достигает минимального критического уровня. Влажность почвы находится на уровне гигроскопической. Недостаточная влагообеспеченность почв является ведущим фактором развития опустынивания в Астраханской области.

**Средние выборочные величины физических свойства почв в слое 0–80 см**

Расстояние, см	W, %	Wг, %	Кстр	Оценка структуры почвы (по Савинову)
S0	0,31±0,08	0,22±0,03	0,41±0,27	неудовлетворительная
S10	3,30±1,02	1,95±0,87	0,52±0,23	неудовлетворительная
S20	5,00±1,87	2,32±0,89	0,98±0,34	хорошая
S30	3,81±1,21	2,42±1,03	1,12±0,26	отличная
S40	2,58±0,98	1,25±0,67	2,19±0,89	отличная
S50	2,82±0,94	1,20±0,68	0,92±0,24	хорошая

W, % – влажность почвы в момент исследования; Wг, % – гигроскопическая влажность; Кстр – коэффициент структурности почвы (по Савинову).

Мы понимаем, что использование средних выборочных величин Кстр не может быть использовано для точной оценки структурного состояния почвы в конкретной точке. Однако для целей настоящего исследования использование средних по выборке вполне допустимо. Справедливости ради отметим, что в слое 10–30 см структурное состояние почвы повсеместно оценивается как неудовлетворительное в силу наличия плотного трещиноватого горизонта, затронутого процессами осолонцевания, и это отражается на средних величинах Кстр. Результаты показали, что с удалением от ядра песчаного массива структурное состояние почвы улучшается.

Для оценки физического состояния необходимо провести сравнение фактических значений физических свойств с их оптимальными величинами, соответствующими нормальному функционированию экосистем и максимальной продуктивности растений. Допустимыми считаются величины, при которых деградация почвы оценивается как обратимая. Если же деградационные процессы трактуются как условно необратимые, то соответствующие физические свойства оцениваются как критические. Для пустынной зоны Астраханской области использована следующая градация плотности почвы: оптимальные значения: 1,20–1,35 г/см<sup>3</sup>; допустимые значения: 1,35–1,45 г/см<sup>3</sup>; критические значения: >1,45 г/см<sup>3</sup> [13].

Для общей оценки физического состояния почвенного покрова исследованного ландшафта формировались выборки величин почвенных свойств по слоям опробования, которые были подвергнуты статистической обработке и сравнительному анализу.

Было установлено, что средняя величина плотности почвы имеет допустимое значение для поверхностного слоя ( $\rho_b = 1,37 \pm 0,03$  г/см<sup>3</sup>), глубины 10 см ( $\rho_b = 1,38 \pm 0,07$  г/см<sup>3</sup>) и глубины 60 см ( $\rho_b = 1,36 \pm 0,08$  г/см<sup>3</sup>). Плотность почвы оценивается как оптимальная для глубин 40 см ( $\rho_b = 1,25 \pm 0,05$  г/см<sup>3</sup>) и 80 см ( $\rho_b = 1,31 \pm 0,04$  г/см<sup>3</sup>).

Изучение уплотнения почвы по средним выборочным величинам сопротивления пенетрации [12] показало, что для слоя 0–40 см почва плотная (от  $1,73 \pm 0,52$  МПа для 0 см до  $1,99 \pm 0,36$  МПа для 40 см). Нижележащие слои оцениваются как очень плотные ( $2,10 \pm 0,46$  МПа для 60 см и  $2,95 \pm 0,44$  для 80 см).

Влажность почвы для всех слоев опробования в ландшафте имеет очень низкие величины (до 4%).

### Заключение

Ранее (во второй половине XX в.) данные почвы использовались в сельском хозяйстве в целях растениеводства, что подтверждает наличие старопахотного горизонта. Происходящие климатические изменения и общее понижение уровня воды в водотоках дельты Волги привело к прогрессирующему опустыниванию в этом и подобных ему ландшафтах, что отразилось на физическом состоянии почв.

Морфологическое изучение почв объекта исследования позволило выявить характерные особенности в виде наличия очень плотного трещиноватого слоя с глубины 10 см, препятствующего нормальному проникновению корневых систем растений, мощность которого увеличивается с удалением от основного песчаного массива. Происхождение данного слоя связано с начавшимися процессами осолонцевания при потере влияния грунтовых вод и воздействии немногочисленных осадков. Наличие в почве раковин моллюсков связано с подводным периодом данного ландшафта. Присутствие охристых пятен говорит о прошедшем периоде гидроморфной стадии для исследованных почв.

Результаты исследования позволили установить, что в целом физическое состояние почв ландшафта плохое. Физическое состояние опесчаненных аллювиальных почв в исследованном ландшафте незначительно улучшается по мере удаления от песчаного массива. Так, в радиусе около 20 м от останца песчаного бугра физическое состояние почвы можно считать очень плохим с высоким уровнем деградации и опустынивания. Далее, с увеличением расстояния, физическое состояние почвы оценивается как плохое. Почвы подвергаются деградационным процессам опустынивания и в целом характеризуются крайне низкой влагообеспеченностью, недостаточной для использования почв в хозяйственной деятельности.

Возвращение почв данной категории в хозяйственную деятельность возможно путем проведения фитомелиоративных мероприятий с обязательным отчуждением территории от всех видов нагрузки, особенно выпаса. В данном случае в качестве фитомелиорантов рекомендованы засухоустойчивые многолетние травы (житняк, пырей, овсяница луговая).

Работа выполнена в рамках № 05/ВИП ГЗ; Соглашение № 169-15-2023-001 от 01.03.2023) по теме «Создание и развитие системы мониторинга современного состояния опустыненных земель, моделирования и прогнозирования развития процессов опустынивания территорий, восстановления пострадавших земель аридных, субаридных и сухих субгумидных регионов в обеспечение действий по борьбе с опустыниванием (ДБО)».

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Рябуха А.Г.* Исторические сведения об изученности песчаных земель России и сопредельных государств // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2012. № 4. С. 1–15.
2. *Трофимов В.Т., Королев В.А.* Массивы песчаных грунтов как объекты эколого-геологических исследований // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. 2018. № 2. С. 59–65.
3. *Zhao H. et al.* Exploring an efficient sandy barren index for rapid mapping of sandy barren land from Landsat TM/OLI images // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2019. Vol. 80. P. 38–46.
4. *Huang J., Hartemink A.* Soil and environmental issues in sandy soils // Earth-Science Reviews. 2020. Vol. 208. P. 103–106.
5. *Дорошенко В.В.* Развитие опустынивания на юге России // Грани познания. 2023. № 1(84). С. 7–15. [Электронный ресурс]. URL: <http://grani.vspu.ru/jurnal/89> (дата обращения: 20.06.2023).
6. *Karpachevskii L.O., Yakovleva L.V., Fedotova A.V.* Soil salinization of the Baer mounds in the Volga River delta // Eurasian Soil Science. 2008. Vol. 41. P. 135–139.
7. *Fedotova A., Yakovleva L., Maslova E., Utaliev A.* WHY the area of degraded soils and desertification is increasing in the Volga delta // The Caspian in the Digital Age : "The Caspian in the Digital Age" within the framework of the International Scientific Forum "Caspian 2021: Ways of Sustainable Development". Vol. 2. Astrakhan: Delta Press, 2022. P. 12–23.
8. *Adyanova A. et al.* Characterization of arid soil quality: Physical and chemical parameters // Eurasian Journal of Soil Science. 2023. Vol. 12, N 2. P. 151–158.
9. *Xu S. et al.* Influences of Ecological Restoration Programs on Ecosystem Services in Sandy Areas, Northern China // Remote Sensing. 2023. Vol. 15, N 14. P. 3519.
10. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2006. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports N 103. FAO, Rome, 2006. 132 p.
11. Полевой определитель почв. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
12. Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств и режимов почв : методическое руководство / под ред. *Е.В. Шеина*. М.: Изд-во МГУ, 2001. 200 с.
13. *Кузнецова И.В., Азовцева Н.А., Бондарев А.Г.* Нормативы изменения физических свойств почв степной, сухостепной, полупустынной зон европейской территории России // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2011. Вып. 6. С. 3–19.
14. *Польнов Б.Б.* Формы рельефа песчаных ландшафтов // Известия Академии наук СССР. VII серия. Отделение физико-математических наук. 1928. Вып. 5. С. 583–591.

Поступила в редакцию 24.06.2023 г.

Принята к печати 28.08.2023 г.

\*\*\*

*Федотова Анна Владиславовна, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук (ФНЦ агроэкологии РАН); 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97; e-mail: fedotova-a@vfanc.ru*

*Anna V. Fedotova, Doctor of Biology, professor, main researcher, Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (FSC of Agroecology RAS); 97, University avenue, Volgograd, 400062; e-mail: fedotova-a@vfanc.ru*