

ПОЧВОВЕДЕНИЕ

УДК 631.432

ВЛИЯНИЕ РЕЛЬЕФА НА ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ВАРЬИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ В ПОЧВАХ ЛУГОВЫХ ЛАНДШАФТОВ ПОЙМЫ И ДЕЛЬТЫ РЕКИ ВОЛГИ

Сорокин Андрей Павлович, доцент, кандидат биологических наук, доцент кафедры почвоведения, землеустройства и кадастров, Астраханский государственный университет, Российская Федерация, 414000, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, sor-and@mail.ru.

Федотова Анна Владиславовна, профессор, доктор биологических наук, профессор кафедры почвоведения, землеустройства и кадастров, Астраханский государственный университет, Российская Федерация, 414000, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, a.v.fedotova@gmail.com

Мельникова Екатерина Сергеевна, магистрант, Астраханский государственный университет, Российская Федерация, 414000, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1. Ekaterina.melick@yandex.ru

Сделана попытка оценки влияния рельефа местности (микрорельефа) на пространственное варьирование физических свойств почв, на примере влажности, луговых биоценозов Волго-Ахтубинской поймы и дельты Волги на ландшафтном уровне методами математической статистики. Установлено, что отличительной чертой луговых почв Волго-Ахтубинской поймы является общая мощность горизонтов А и АВ, которая в сумме колеблется от 65 до 67 см, что значительно больше, чем в почвах дельтовых экосистем. Корреляционный анализ показал, что рельеф оказывает влияние на пространственное распределение влажности по поверхностным слоям исследуемых почв. Коэффициенты корреляции показали хорошую, и в меньшей степени, тесную обратную связь, то есть с понижением в рельефе влажность почв увеличивается. Дисперсионный анализ показал, что на пространственное распределение влаги в почвах поймы значительно (68%) оказывает влияние рельеф территории и 32% – какие-то другие факторы, в почвах дельты картина противоположная: незначительно, но все же влияет, рельеф (34%), и сильно (66%) влияют какие-то другие факторы.

Ключевые слова: аллювиальные луговые почвы, микрорельеф, Волго-Ахтубинская пойма, дельта Волги, корреляционный анализ, дисперсионный анализ.

RELIEF INFLUENCE ON SPATIAL VARIATION OF PHYSICAL PROPERTIES IN SOILS OF MEADOW LANDSCAPES OF THE VOLGA RIVER FLOODPLAIN AND DELTA

Sorokin Andrey P., Associate Professor, Ph.D. in Biology, Department of Soil Science, Land Management and Cadastre, Astrakhan State University, Russian Federation, 414056, Astrakhan, 1 Shaumyan sq., sor-and@mail.ru

Fedotova Anna V., Professor, Doctor of Biological Sciences, Department of Soil Science, Land Management and Cadastre, Astrakhan State University, Russian Federation, 414056, Astrakhan, 1 Shaumyansq., a.v.fedotova@gmail.com

Melnikova Ekaterina S., MA student, Astrakhan State University, Russian Federation, 414056, Astrakhan, 1 Shaumyan sq., Ekaterina.melick@yandex.ru

An attempt has been made to assess the influence of the terrain relief (microrelief) on the spatial variation of the physical properties of soils, on the example of moisture, meadow biocenoses of the Volga-Akhtuba floodplain and the Volga delta at the landscape level using methods of mathematical statistics. It has been established that a distinctive feature of meadow soils of the Volga-Akhtuba floodplain is the total thickness of horizons A and AB, which in total varies from 65 to 67 cm. It is significantly greater than in the soils of the delta ecosystems. Correlation analysis showed that the topography influences the spatial distribution of moisture over the surface layers of the soils under study. The correlation coefficients showed a good and to a lesser extent close inverse relationship, i.e., soil moisture increases with decreasing in relief. The analysis of variance has shown that the relief of territory (68 %) and 32 % - some other factors considerably influence on spatial distribution of a moisture in soils of a floodplain. However, in delta soils the situation is opposite: the relief has a slight influence (34 %) and other factors (66 %) have a strong influence.

Key words: alluvial meadow soils, microrelief, Volga-Akhtuba floodplain and the Volga delta, correlation and variance analysis.

Рельеф играет огромную роль в процессах почвообразования. Именно рельефом в большей степени определяется характер гидрологического режима конкретного участка, перераспределение влаги и тепла, миграция растворимых и нерастворимых веществ с поверхностным и внутрипочвенным стоком [2]. Это особенно актуально для территории Волго-Ахтубинской поймы и дельты Волги, где среди факторов почвообразования влияние рельефа на засоление и гидрологический режим почв в подобных аридных областях особенно значимо. Немаловажная роль в данной проблеме отводится и микрорельефу территории. Кроме того, по мнению Димо и Келлера [3] основным фактором, определяющим комплексность почвенного покрова полупустынь, является микрорельеф.

Так как основную часть площади Волго-Ахтубинской поймы и дельты Волги занимают экосистемы с естественным растительным покровом, в большинстве являющимися заливными сенокосными лугами и составляющие основу лучших кормовых угодий региона, поэтому вопросы мониторинга за состоянием почвенного покрова данных биоценозов актуальны и своевременны. Продуктивность пойменных и дельтовых лугов непосредственно зависит от гидрологического режима и засоления почвы, а так же от ряда агрофизических свойств, пространственная вариабельность которых, в свою очередь, зависит от мезо- и микрорельефа территории.

А.П. Сорокиным [5] проведено исследование особенностей пространственной изменчивости почвенных свойств в бугровых ландшафтах дельты Волги и выявление роли рельефа в их динамике. Получены материалы по пространственной изменчивости плотности, влаго- и солесодержанию почв

дельты Волги при различных геоморфологических условиях на ландшафтном уровне. Показана высокая пространственная неоднородность влаго- и солесодержания почв в ландшафтах дельты Волги на разных уровнях исследования – от почвенного горизонта до ландшафтного уровня. Выявлены корреляционные зависимости между почвенными свойствами и рельефом территории. Установлено, что рельеф оказывает заметное влияние на пространственную вариабельность влаго- и солесодержания 30-ти сантиметрового слоя почвы, с глубиной влияние рельефа практически не выражено. Работа являлась одной из пионерных в области познания роли бугров Бэра в формировании ландшафтов волжской дельты.

Так же проведена оценка физического и солевого состояния постагрогенных почв антропогенно преобразованных ландшафтов дельты Волги. Установлено, что на пространственное распределение почвенных свойств и солей в ландшафте оказывает влияние антропогенно образованный рельеф территории: обваловка, наличие оросительных каналов и близость расположения магистрального дренажного канала ($r = 0,84$). [6, 7].

Исходя из этого, *целью исследования* является – дать оценку влияния рельефа на пространственное распределение некоторых физических свойств (влажности) в почвах луговых биоценозов Волго-Ахтубинской поймы и дельты Волги.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования выбраны почвы лугового ландшафта Центральной дельты Волги (рис. 1). Участок расположен на равнинном лугу среднего уровня в 3,5 км к востоку от села Яблонька Володарского района Астраханской области. Почвенный покров участка представлен луговыми дерновыми маломощными гидроморфными почвами на рыхлых аллювиальных отложениях.

По сравнению с почвами зонального ряда (бурыми полупустынными), эти почвы характеризуются значительно большей мощностью гумусового слоя и высокой гумусированностью. Общая мощность горизонтов А и В в сумме колеблется от 15 до 25 см. Ниже гумусового горизонта с весьма четкой границей залегает почвообразующая, рыхлая, опесчаненная, порода аллювиального происхождения, где отмечены ржавые пятна оглеения и белые прожилки (соли, карбонаты, псевдомицелий). Тёмные тона окраски и наличие ржавых пятен свидетельствует о влиянии избыточного увлажнения на породу [5].

Исследуемая почва отличается разнообразием гранулометрического состава, что обусловлено своеобразием капиллярного передвижения растворов и солей и слоистостью аллювиального происхождения. Анализ распределения ионов легкорастворимых солей по почвенному профилю показал, что соли в основном содержатся в поверхностном слое почвы. Преобладают сульфат-ионы, гидрокарбонат- и хлорид-ион зафиксированы в

незначительных количествах. Тип засоления сульфатный. По катионному составу магниево-кальциевый.

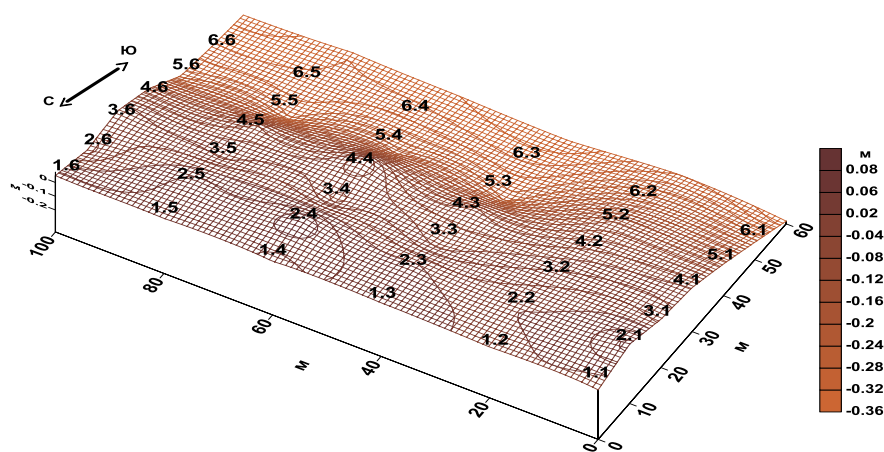
Участок в пойме расположен в 9-ти км на юг от села Новострой Енотаевского района Астраханской области на расстоянии около 1,5 км от реки Волга. Почвенный покров представлен аллювиальной луговой темногумусовой почвой на рыхлых аллювиальных отложениях.

Отличительной чертой почв исследуемой территории является общая мощность горизонтов А и АВ, которая в сумме колеблется от 65 до 67 см, что значительно больше, чем в почвах дельтовых экосистем. Ниже гумусового горизонта так же залегает почвообразующая порода аллювиального происхождения с ярко выраженными глинистыми прослойками мощностью 3-6 см, где так же отмечены ржавые пятна оглеения и белые прожилки солей.

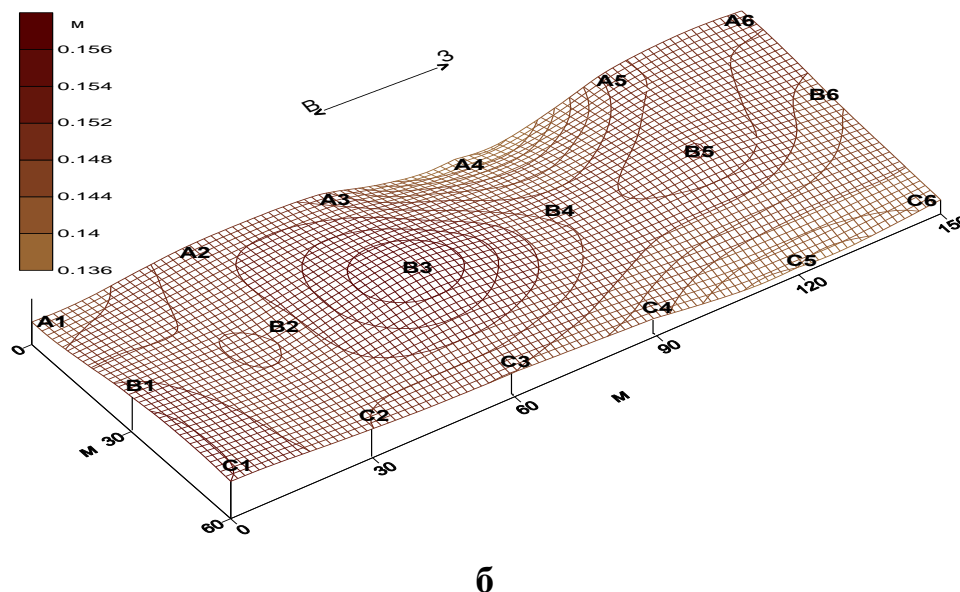
Исследуемые почвы характеризуется более темной окраской верхнего горизонта и наличием большого количества гумуса в верхнем горизонте, что свидетельствует о том, что процессу остепнения противостоят периодическое поверхностное заболачивание, которое имеет место весной в период паводка. Почвы отличаются также разнообразием гранулометрического состава и слоистостью. Наличие данных признаков свидетельствует об избыточном и периодическом увлажнении почв.

Исследования пространственной вариабельности почвенных свойств, как в пойменной, так и в дельтовой части проводились в послепаводковый период, через месяц после схода поверхностных вод.

Для изучения физических свойств почв использовали метод равномерной сетки, заложенной на объектах исследования с помощью GPS-приемника. Шаг сетки на объекте в пойменной части составил 20 м, а в дельтовой – 30 м. Так же была проведена GPS-привязка и нивелирная съемка исследуемых территорий в узлах сетки, по результатам которых построены 3D-изаплеты участка (рис. 1). В узлах сетки схематично изображено пространственное расположение почвенных прикопок.



а



б

Рис. 1. Рельеф и схема расположения почвенных прикопок в исследуемых ландшафтах (а – Волго-Ахтубинская пойма, б – дельта Волги).

Влажность определяли традиционным термостатно-весовым методом и на влагомере МХ-50 в 3-х кратной повторности по слоям 0-5 см, 10-15 см, 20-25 см, 30-35 см и 40-45 см.

Обработка и анализ результатов проводились с использованием интегрированных пакетов обработки информации Statistica v.7, Microsoft Excel v.07, Golden Surfer v.9.

Влияние рельефа на пространственное распределение влажности и плотности в почвах исследуемых ландшафтов изучали с помощью корреляционного анализа [1].

Влияние рельефа, как фактора пространственного распределения физических свойств в почвах ландшафтов изучали с помощью дисперсионного анализа [4].

Результаты исследования и их обсуждение

Исследования пространственной вариабельности свойств почв равнинной (центральной) части дельты Волги и Волго-Ахтубинской поймы проводились методом равномерной сетки, что позволило подробно изучить изменчивость свойств данной почвы как в вертикальном (с глубиной), так и в горизонтальном (послойно) направлениях. Полученные данные обработаны статистически, результаты представлены в виде топоизоплет влажности почвы (рис. 2, 3).

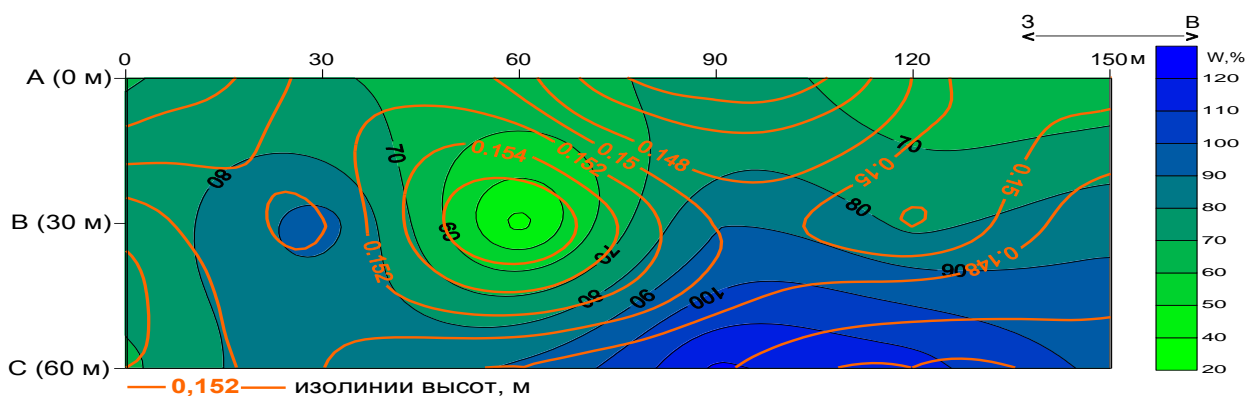


Рис. 2. Пространственное распределение влаги по слою 0 – 5 см (дельта Волги).

Послойное исследование пространственной вариабельности влажности почвы на лугу среднего уровня дельты Волги подтверждают зависимость величины влажности от микрорельефа территории, положения изучаемого участка в ландшафте, а так же морфологических особенностей строения профиля данной почвы. Микрорельеф территории особое влияние оказывает на вариабельность влаги поверхностных слоев почвы. Влияние близости расположения зеркала грунтовых вод отчетливо отразилось на распределении влаги в слое 40 – 45 см, что объясняется поднятием капиллярной каймы выше по профилю. Морфологические особенности строения профиля, а конкретно его слоистое сложение, как выяснилось, оказывает влияние на распределение влаги по промежуточным слоям (10 – 15, 20 – 25 см).

Значения влажности в почвах поймы варьируют значительно меньше, размах варьирования составляет около 17%. Это свидетельствует о том, что в почвенном профиле присутствуют слои практически идентичные по гранулометрическому составу. Увеличение значений на данной глубине наблюдается так же по направлению, причем отчетливо в северном направлении, в сторону реки. Как видно из рисунка 3 на пространственное распределение влаги по данному слою непосредственное влияние оказывает мезо- и микрорельеф территории.

Степень варьирования значений влажности уменьшается с глубиной. Наиболее влажной оказывается та часть слоя, которая приурочена к северной части, то есть к реке.

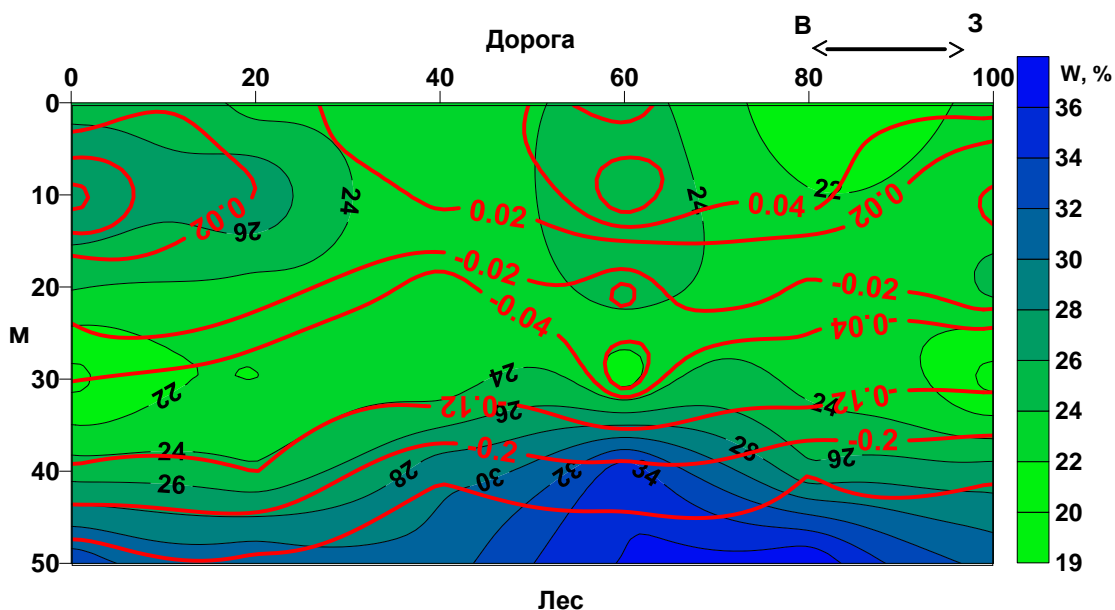


Рис. 3. Пространственное распределение влажности по слою 10 – 15 см (пойма).

Одной задачей исследования является установление влияния рельефа территории на значения и пространственное варьирование изучаемых свойств почв луговых ландшафтов. Для решения поставленной задачи было проведено исследование на выявление роли рельефа в распределении почвенных свойств. Для этого был использован корреляционный анализ, где исходными данными явились результаты нивелирной съемки территории и средние значения влажности и плотности, в почвах для каждого почвенного разреза, а в качестве основного показателя использовали коэффициент корреляции (табл. 1).

Таблица 1

Коэффициент корреляции ($K_{кор}$) влажности почв с их положением в рельефе исследуемых ландшафтов

Центральная часть дельты Волги		
Свойство	Слой, см	$K_{кор}$
Влажность	0-5	-0,61
	10-15	-0,20
	20-25	-0,27
	40-45	-0,57
Волго-Ахтубинская пойма		
Свойство	Слой, см	$K_{кор}$
Влажность	0-5	-0,22
	10-15	-0,75
	20-25	-0,50
	40-45	-0,17

Из таблицы 1 видно, что рельеф влияет на пространственное распределение влажности только по поверхностному слою луговых почв центральной части дельты Волги, где коэффициенты корреляции равны -0,61. Таким образом, с понижением в рельефе ландшафта содержание влаги в поверхностных слоях почв увеличивается. Однако, рельеф так же влияет на пространственное распределение влаги по слою 40-45 см ($K_{кор} = -0,57$) определяя тем самым внутрибоковой сток влаги и растворенных в ней веществ.

В ландшафте Волго-Ахтубинской поймы рельеф так же оказывает влияние на пространственное распределение влажности по поверхностным слоям почв. Наиболее зависит влажность в слое 10-15 см ($K_{кор} = -0,75$). Таким образом, здесь с понижением в рельефе ландшафта влажность почвы увеличивается.

Выяснение роли рельефа как фактора в варьировании значений физических свойств по слоям опробования исследуемых луговых почв может быть осуществлено с помощью дисперсионного анализа.

Чтобы судить о том, влияет ли данный фактор на результативный признак (влажность), нужно, чтобы сам факториальный признак (рельеф) имел несколько уровней, которые называют градациями фактора. То есть, чтобы судить о влиянии рельефа на пространственное распределение свойств в почве, нужно, чтобы факториальный признак – рельеф имел как минимум две градации, то есть два различных перепада высот.

В нашем случае для примера возьмем данные для слоя, наиболее коррелируемого с рельефом местности – это влажность по слою 10-15 см почвы лугового ландшафта Волго-Ахтубинской поймы ($K_{кор} = -0,75$; табл. 1). Рельеф данного ландшафта разобьем на три градации: низкий, средний и высокий. Каждой градации соответствует несколько значений влажности (табл. 2).

Таблица 2

Дисперсионный комплекс для влажности слоя 10-15 см почвы лугового ландшафта Волго-Ахтубинской поймы

Влажность, %		
Низкий	Средний	Высокий
24,95	22,46	29,34
20,37	28,06	35,70
28,02	25,30	26,44
22,66	22,10	26,87
22,93	22,80	33,34
24,19	25,27	31,77
23,28	21,95	30,81
23,41	22,53	36,08
24,67	23,41	38,05
19,19	18,92	31,45
20,75	25,10	
25,34	24,31	
23,09		
22,80		

Полученные данные по отдельным градациям фактора составляют дисперсионный комплекс, который и будет являться исходником для проведения анализа.

Анализ проводили с помощью статистических компьютерных пакетов Excel 2007 и Statistica v.7. результаты анализа представлены в таблице 3.

Результаты дисперсионного анализа

Однофакторный дисперсионный анализ						
ИТОГИ						
Градации	Счет	Сумма	Среднее	Дисперсия		
Низкий	14	325,66	23,2617	4,9686		
Средний	12	282,20	23,5168	5,2946		
Высокий	10	319,85	31,9855	14,9827		
Дисперсионный анализ						
Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Между группами	535,32	2	267,6643	34,2790	8,80437E-09	3,284917651
Внутри групп	257,67	33	7,8084			
Итого	793,006	35				

В таблице 3 представлены составляющие дисперсии: между группами (м.г.) – это факториальная дисперсия (обусловлена действием изучаемого фактора – рельефа), Внутри групп (в.г.) – случайная дисперсия (мера влияния неучтенных нами факторов), Итого – общая дисперсия (определяется действием всех факторов на выборку).

Используя суммы квадратов (*SS*) можно рассчитать силу влияния изучаемого фактора на выборку как отношение факториальной суммы квадратов к общей:

$$\frac{SS_{\text{м.г.}}}{SS_{\text{итого}}} * 100\% = \frac{535,32}{793,006} * 100\% = 68\%$$

Сила влияния случайных факторов составит:

$$\frac{SS_{\text{в.г.}}}{SS_{\text{итого}}} * 100\% = \frac{257,67}{793,006} * 100\% = 32\%$$

Таким образом, можно утверждать, что на пространственное распределение влаги по слою 10-15 см исследуемых почв ландшафта Волго-Ахтубинской поймы достаточно сильно влияет рельеф территории (68%) и незначительно какие-то неизвестные факторы (32%).

Значимость влияния исследуемого фактора можно определить, сравнив расчетное значение *F* (расчетное значение критерия Фишера) с *F критическое* (табличное значение критерия Фишера для принятого уровня значимости $\alpha = 0,05$). Поскольку полученное значение $F = 34,28$ больше табличного $F_{\text{критическое}} = 3,28$, факториальная дисперсия достоверно отличается от случайной дисперсии, рельеф оказывает влияние на величины влажности.

Так же данный вывод подтверждается сравнением *P-значения* (вероятность сходства дисперсий) с обычным в почвоведении уровнем значимости $\alpha = 0,05$, так как $8,8 * 10^{-10}$ меньше 0,05, то отличие факториальной и случайной дисперсий значимо. Другими словами, можно утверждать с вероятностью 95%, что рельеф оказывает влияние на пространственное

распределение влаги по слою 10-15 см исследуемых почв лугового ландшафта Волго-Ахтубинской поймы.

Аналогичный анализ был проведен с данными для слоя, наиболее коррелируемого с рельефом лугового ландшафта дельты Волги – это влажность по поверхностному слою (0-5 см) почвы ($K_{кор} = -0,61$).

В результате установили, что на пространственное распределение влаги по поверхностному слою исследуемых почв ландшафта дельты Волги достаточно сильно влияют какие-то неизвестные факторы (66%) и незначительно рельеф территории (34%). Полученный результат скорее всего связан с антропогенным преобразованием данного ландшафта, а точнее обваловкой территории.

Значимость влияния исследуемого фактора определили, сравнив расчетное значение F с F критическое, так как полученное значение $F = 3,91$ больше табличного F критическое = 3,68, факториальная дисперсия достоверно отличается от случайной дисперсии, рельеф оказывает влияние на величины влажности.

Так же данный вывод подтверждается сравнением P -значения с уровнем значимости $\alpha = 0,05$, так как 0,0427 меньше 0,05, то отличие факториальной и случайной дисперсий значимо. Другими словами, можно утверждать с вероятностью 95%, что рельеф оказывает влияние на пространственное распределение влаги по поверхностному слою исследуемых почв лугового ландшафта дельты Волги.

Список литературы

1. **Васильева Л.А.** Статистические методы в биологии, медицине и сельском хозяйстве / Л.А. Васильева // Учебное пособие для ВУЗов. Новосибирск: Институт цитологии и генетики СО РАН, 2007. 128 с.
2. **Ганжара Н.Ф.** Почвоведение / Н.Ф. Ганжара – М.: Агроконсалт, 2001. – С. 29 – 53.
3. **Димо Н.А.** В области полупустыни: почвенные и ботанические исследования на юге Царицынского уезда Саратовской губернии / Н.А. Димо, Б.А. Келлер. – Саратов, 1907. – 218 с.
4. **Мешалкина, Ю.Л.** Математическая статистика в почвоведении: Практикум / Ю.Л. Мешалкина, В.П. Самсонова – М.: МАКС Пресс, 2008. – 84с.
5. **Сорокин, А.П.** Особенности пространственной вариабельности почвенных свойств в ландшафтах дельты волги / А.П. Сорокин // автореф. дис. на соискание уч. ст. канд. биол. наук. – Изд. Дом «Астраханский университет». – 2009. – 22с.
6. **Федотова, А.В.** Особенности пространственного варьирования влаги и солей в почвах антропогенно преобразованных ландшафтов дельты Волги / Федотова А.В., Сорокин А.П., Стрелков С.П., Кондрашин К.Г. // Естественные науки. №2 (59). 2017. С. 22-31.
7. **Федотова, А.В.** Оценка современного состояния постагрогенных почв дельты Волги / Федотова А.В., Яковлева Л.В., Сорокин А.П., Стрелков С.П., Стрелкова Е.В. // Вестник Оренбургского государственного университета №10. 2013 г. С. 275-279.

Reference

1. Vasilyeva L. A. Statistical methods in biology, medicine and agriculture // Textbook for universities. Novosibirsk: Institute of Cytology and Genetics of RAS, 2007. 128 p.
2. Ganzhara N. F. Soil science. - Moscow: Agroconsult, 2001. – P. 29 – 53.
3. Dimo N. A., Keller B. A. In the Semi-Desert: Soil and Botanical Research in the South of Tsaritsynsky District of Saratov Province. - Saratov, 1907. - 218 p.
4. Meshalkina Y. L., Samsonova V. P. Mathematical statistics in soil science: Workshop. - Moscow: MAKS Press, 2008. – 84 p.
5. Sorokin A. P. Features of spatial variability of soil properties in landscapes of the Volga delta Ph. - Publishing house "Astrakhan University". - 2009. – 22p.
6. Fedotova A. V., Sorokin A. P., Strelkov S. P., Kondrashin K. G. Features of spatial variation of moisture and salts in soils of anthropogenically transformed landscapes of the Volga delta // Natural Sciences, 2017. - №2 (59). - P. 22-31.
7. Fedotova A. V., Yakovleva L. V., Sorokin A. P., Strelkov S. P., Strelkova E. V. Assessment of the current state of post-agrogenic soils of the Volga Delta

