УДК 631.42 ***DOI 10.52578/2305-9397-2025-2-4-115-128***
МРНТИ 68.05.01

Есбулатова А. Ж., канд. техн. наук, **основной автор**, https://orcid.org/0000-0002-1386-7346
НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», Казахстан, г.Уральск, ул.Жангир хана 51, 090009, esbulatova76@mail.ru
Рахимгалиева С. Ж., канд. с.-х. наук, https://orcid.org/0000-0001-6344-4475
НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», Казахстан, г.Уральск, ул.Жангир хана 51, 090009, saule-ra@mail.ru
Могханм Ф. С., канд.с-х наук, https://orcid.org/0000-0003-3318-5358
Кафральшейх университет, Египет, провинция Кафр-эш-Шейх, ул. Эль-Гейш, почтовый ящик 33511, kfs_info@kfs.edu.eg
Ельнамаз Ашраф Ель Саад, канд.с-х наук, https://orcid.org/0000-0003-3318-5358,
Александрийский университет, Египет, https://orcid.org/0009-0000-0986-7338, elnamasashraf@gmail.com
Жаппарова А. А., канд. с.-х. наук, https://orcid.org/0000-0002-0103-5059
Казахский Национальный аграрный исследовательскый университет, г. Алматы, проспект Абая 8, 050000, aigul7171@inbox.ru

Esbulatova A. Zh., Candidate of Engineering, **the main author**, https://orcid.org/0000-0002-1386-7346
NJSC «Zhangir khan West Kazakhstan Agrarian – Technical. University», Kazakhstan, Uralsk, st. Zhangir Khan, 51, 090000, esbulatova76@mail.ru
Rakhimgaliyeva S. Zh., Candidate of Agriculture, https://orcid.org/0000-0001-6344-4475
NJSC «Zhangir khan West Kazakhstan Agrarian – Technical. University», Kazakhstan, Uralsk, st. Zhangir Khan, 51, 090000, saule-ra@mail.ru
Moghanm F. S., Candidate of Agriculture, https://orcid.org/0000-0003-3318-5358
Egypt,Kafrelsheikh University, Egypt, Kafr El-Sheikh Governorate, P.O. Box 33511, kfs_info@kfs.edu.eg
El Namas Ashraf El Sayed, Candidate of Agriculture, Egypt, Alexandria University, elnamasashraf@gmail.com
Zhapparova A. A., Candidate of Agriculture, https://orcid.org/0000-0002-0103-5059
Kazakh National Agrarian Research University, Kazakhstan, Almaty, Abai avenue 8, 050000, aigul7171@inbox.ru

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПОЧВОВЕДЕНИИ
APPLICATION OF COMPUTER TECHNOLOGIES IN SOIL SCIENCE

АННОТАЦИЯ

Зональными почвами Западно-Казахстанской области являются каштановые почвы. На каштановых почвах возделывают основные сельскохозяйственные культуры: зерновые, овощные, плодовые, ягодные, кормовые, бахчевые и другие культуры, а также используются под пастбищные и сенокосные угодья. Поэтому изучение плодородия почв, их свойств, агрохимических показателей было и остаётся одной из актуальных проблем сухостепной зоны. Обработка полученных данных и получение достоверных результатов невозможна без компьютерных технологий. В последние годы обследование почв проводится в цифровом формате. Практически все почвы Казахстана оцифрованы. Результаты анализов обрабатываются на различных программах. Результаты анализа почв были статистически обработаны методом дисперсионного анализа. При дисперсионном анализе выявили, что связь между валовыми формами калия и гумусом прямая и тесная. На количество валового калия влияет содержание гумуса. Модель регрессии надёжна и является адекватной, она подтверждает достоверность количественной зависимости содержания валовых форм калия и гумуса. При увеличении содержания гумуса в почве увеличивается содержание валовых форм калия. Расчетное значение t-критерия Стьюдента для коэффициентов α и b при сравнении $t_{факт} > t_{табл}$ выявили статистически значимыми и пришли к выводу что гумус оказывает существенное влияние на содержание валового калия. Корреляционно-регрессионный анализ между водорастворимым калием и гумусом также показал зависимость между водорастворимым калием и гумусом.

ANNOTATION

The zonal soils of the West Kazakhstan region are chestnut soils. These soils serve as the main substrate for the cultivation of key agricultural crops, including cereals, vegetables, fruit, berries, forage, melons, and others, and are also used as pasture and hayfields. Therefore, the study of soil fertility, their

properties, and agrochemical indicators has been and remains one of the most relevant issues in the dry steppe zone. The processing of obtained data and the acquisition of reliable results are impossible without the application of computer technologies

In recent years, soil surveys have been conducted in a digital format. Almost all soils in Kazakhstan have been digitized. The results of the analyses are processed on various programs. The soil analysis results were statistically processed using analysis of variance. The analysis revealed that the relationship between the gross forms of potassium and humus is direct and strong. The amount of gross potassium is influenced by the humus content. The regression model is reliable and adequate; it confirms the validity of the quantitative dependence between the content of gross forms of potassium and humus. As the humus content in the soil increases, the content of gross forms of potassium increases. The calculated t-value from Student's t-test for the coefficients α and b, with t fact > t table, was found to be statistically significant, leading to the conclusion that humus has a significant effect on the content of gross potassium. The correlation-regression analysis between water-soluble potassium and humus also demonstrated a dependency between water-soluble potassium and humus.

Ключевые слова: *цифровые технологии, почвы, карты, дисперсионный анализ, калий.*
Key words: *digital technologies, soils, maps, analysis of variance, potassium.*

Введение. В. В. Докучаев создатель науки о почве, новой научной дисциплины — естественно-исторического, или генетического, почвоведения. До работ Докучаева почвы изучались вне связи с законами их развития и образования. Такое изучение не имело перспектив, и, как отмечал Докучаев, в этом лежала главная причина отсутствия положительных результатов мероприятий по повышению плодородия почв. В.В.Докучаев установил закономерную связь между почвами и природными условиями среды [1].

Почва является основным источником обеспечения сельскохозяйственных культур питательными веществами. Однако в современных условиях непрерывной интенсификации сельскохозяйственного производства для ежегодного выращивания высоких урожаев с продукцией хорошего качества довольно часто оказывается недостаточным то количество питательных веществ, которое поступает в растения из органического вещества и труднорастворимых минеральных соединений почвы в результате деятельности микроорганизмов и корневой системы растений [2]. Роль гумуса чрезвычайно многогранна, в ней сосредоточено 95-98% почвенного азота, 80% серы, до 60% фосфора, значительные количества кальция, калия, магния и других элементов. В процессе трансформации гумуса они освобождаются и становятся доступными для растений [3].

Калий, является одним из основных, наряду с азотом и фосфором, необходимых элементов минерального питания. Калия значительно больше в молодых жизнедеятельных частях и органах растения, чем в старых. При недостатке калия в питательной среде происходит отток его из более старых органов и тканей в молодые растущие органы, где он подвергается повторному использованию (реутилизации) [4]. В природе содержание калия составляет 2,6 %, в отличие от натрия содержание каля высокое. Калий из-за высокой активности не встречается в свободном состоянии. Калий может удерживаться почвенным покровом в отличие от натрия, соответственно калий не накапливается в водоёмах. В виде крупных месторождений редко встречаются соли калия. Запасы калийных солей находятся в Европе, которые в пять раз превосходят все остальные мировые запасы, это Соликамское и Западно-Украинское месторождения. [5]. Особая роль принимающих участие в почвенно-геохимических процессах, среди множества элементов, принадлежит калию. В почвах поведение калия адекватно отражает как динамические, так и статические изменения, которые происходят в условиях почвообразования и направленности трансформационных преобразований почвы, которые вызываются за счёт деятельности антропогенного фактора. Во всех почвенно-биологических процесс калий является активным участником. Качество и уровень состояния экосистем в значительной степени определяет поведение калия в почве. Поэтому калий относится к тем элементам, который всегда был и остаётся в поле внимания теоретиков и практиков [6].

Аллювиальные почвы являются одной из основных групп почв в Индии и в штате Бихар, которые в основном встречаются вдоль равнин рек Ганг, Коси, Махананда и их притоков, и они в значительной степени способствуют формированию национальной продовольственной корзины. Эти аллювиальные почвы в Бихаре интенсивно возделываются, при этом для отдельных сельскохозяйственных культур даются рекомендации по содержанию N, P и K, что приводит к недостатку или избытку удобрений. Дисбаланс питательных веществ может также вызвать

антагонизм питательных веществ (например, взаимодействие Zn и P) и растрату дорогостоящих ресурсов, таких как удобрения K, которые Индия полностью импортирует [7].

Управление почвой в зависимости от конкретного участка привлекает большое внимание из-за потенциальных преимуществ, связанных с повышением эффективности использования ресурсов, улучшением экономической рентабельности растениеводства и снижением экологических рисков [8]. *Поэтому всестороннее понимание пространственной изменчивости свойств почвы становится все более необходимым. Изменчивость свойств почвы возникает в основном в результате сложных взаимодействий между геологией, топографией и климатом, а также использованием почвы и управлением ею [9,10]. Как следствие, почвы демонстрируют заметную пространственную изменчивость на макро- и микромасштабах [11,12].*

Для получения пространственного распределения используются методы пространственной интерполяции и ГИС-картографирования. Карты для исследуемых свойств почв и программное обеспечение, используемое для этой цели - ArcGIS v.10.1 (ESRI Co, Redlands, CA, USA). ArcGIS кригинг позволяет выразить пространственную вариацию, получить различные картографические результаты и в то же время минимизировать ошибки прогнозируемых значений [13]. Как отмечают некоторые учёные анализ полувариограмм проводится перед применением обычной интерполяции кригинга, поскольку модель полувариограмм определяет интерполяционную функцию [14].

В последние годы в мировой практике в области почвоведения всё шире и шире применяется медоты ГИС технологий и цифровизации. Так, почвенные карты имеют решающее значение для моделирования среды обитания и распределения видов в нынешних и будущих условиях, тем самым предоставляя соответствующую справочную информацию для планирования и сохранения плодородия почвы. В Амазонии почвенные условия крайне неоднородны, что имеет важные последствия для распределения и динамики исключительного биоразнообразия региона. К сожалению, имеющиеся почвенные карты для этого региона отличаются неточностью и отсутствием экологически значимых переменных [15].

В Казахстане не только все почвы отцифрованы, но и обработка полученных данных по анализам почв рассчитываются на различных программах, то есть вся работа проделывается с использованием компьютерных технологий. В основном рассчёты проводятся в EXCEL. Также в данной программе рассматриваются зависимость между показателями и корреляция. Так, например, по результатам некоторых исследований у*становлена достаточно тесная зависимость между урожаем растений и содержанием обменного калия в почве. В связи с этим, при прогнозировании действия удобрений учитывают содержание обменного калия [16]. По результатам исследований выявили корреляцию между собой, отдельные методы определения доступного растениям калия плохо согласуются с данными полевых опытов. В этом смысле до сих пор трудно указать достаточно приемлемую методику хотя бы для того или иного района. Следует признать, что и диагностика потребности почв в калии нуждается еще в значительной доработке для рационализации ее необходимо предварительно выяснить поведение калия в кристаллической решётке и возможности его освобождения под воздействием продуктов жизнедеятельности растений и микроорганизмов. [17]*

Объекты и методы исследования. Объектами исследования являются каштановые почвы. В каштановых почвах были определены содержание гумуса, физической глины и различные формы калия. Результаты исследования были обработаны методом дисперсионного анализа.

Основной целью дисперсионного анализа является исследование значимости различия между средними [18]. При исследовании статистической значимости различия между средними двух или нескольких групп, мы на самом деле анализируем выборочные дисперсии. В основе дисперсионного анализа лежит разделение дисперсии на части или компоненты. Для объема выборки N (Варианты * повторность) выборочная дисперсия вычисляется как сумма квадратов отклонений от выборочного среднего, деленная на N-1. Таким образом, при фиксированном объеме выборки (N=12), дисперсия есть функция суммы квадратов (отклонений) обозначаемая, для краткости SS (от английского Sums of Squares - Сумма Квадратов) [19,20].

Результаты и их обсуждения. Количественная зависимость калия от гумуса осуществляется с помощью регрессионного анализа. Корреляция и регрессия тесно связаны между собой: первая оценивает силу (тесноту) статистической связи, вторая исследует ее форму. Значение коэффициента парной корреляции может изменяться от -1 до +1. Знак показывает характер связи: «+» на прямую зависимость, «-» на обратную. При значениях коэффициента корреляции, близкой к 0, говорит о слабой связи между фактором и его результатом или означает что между ними нелинейная связь.

Чем ближе значение коэффициента корреляции к 1, тем связь сильнее. При значении, равном ±1, связь функциональная.

Таблица 1 - Регрессионный комплекс

Генетический горизонт глубина, см		Среднее содержание валового калия, %	Среднее содержание гумуса, %	Регрессионная статистика	
Темно-каштановая почва (целина)	A_1(0,5-18)	1,8767	3,0223	R	0,8288
	B_1(18-40)	1,7100	1,1203	R^2	0,6870
	B_2(40-61)	1,3633	0,6083	Нормиров. R^2	0,6087
Темно-каштановая почва (залежь)	A_1(0-23)	1,7700	2,7867	Стандартная ошибка	0,1200
	B_1(23-37)	1,7000	1,0110		
	B_2(37-57)	1,4767	0,4710	Наблюдения	6

В данном случае коэффициент корреляции (R) равен 0,8288, это означает, что связь между валовым калием и гумусом прямая и тесная, т.е. количество содержания валового калия зависит от содержания гумуса, и чем больше гумуса, тем больше валового калия (табл.1).

Коэффициент детерминации представляет собой альтернативный показатель степени зависимости между двумя переменными. Также его можно использовать для количественного определения характеристики, связывающей две переменные, т.е. R^2 дает пропорцию общего изменения содержания валового калия (y), которую можно объяснить изменением содержания гумуса (x). Эта величина выражена в процентах: R^2=0,6870, 68,7% - доля вариации, 31,3% - приходится на неучтенные факторы (табл.1).

Таблица 2 - Дисперсионный анализ

	df	*SS*	*MS*	$F_{факт.}$	$F_{табл.}$
Регрессия	1	0,1265	0,1265	8,7777	7,7086
Остаток	4	0,0576	0,0144		
Итого	5	0,1841	0,0368		

Так как табличное значение критерия Фишера из таблицы 2 ($F_{табл}$=7,7086) меньше расчетного значения ($F_{факт.}$=8,7777), то следует, что, в целом модель регрессии надежна и является адекватной, т.е. полученное уравнение ($\hat{y}$=1,4349+0,1427x) из таблицы 3 достоверно описывает количественную зависимость содержания валового калия и гумуса. Согласно модели, следует, что при увеличении содержания гумуса на 1%, содержание валового калия повысится в среднем на 0,1427%.

Для оценки существенности коэффициента регрессии его величина b=0,1427 сравнивается с его стандартной ошибкой m_b=0,0482, т. е. определяется фактическое значение t-критерия Стьюдента. Расчетное значение t-критерия Стьюдента для коэффициента b $t_{факт}$ =2,9627 (табл.3). Табличное значение $t_{табл}$=2,7764 при уровне значимости α=0,05 и числе степеней свободы df =4. В результате сравнения $t_{факт} > t_{табл}$ получаем, что параметры a и b являются статистически значимыми и приходим к выводу что гумус оказывает существенное влияние на содержание валового калия.

Таблица 3 - Зависимость валового калия от гумуса

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижняя граница 95%	Верхняя граница 95%
Y-пересечение	1,4349	0,0874	16,4120	0,0001	1,1922	1,6777
Гумус, %	0,1427	0,0482	2,9627	0,0414	0,0090	0,2764

Анализ верхней и нижней границ доверительных интервалов приводит к выводу о том, что параметры a и b находясь в указанных границах (1,1922<a<1,6777 и 0,0090< b <0,2764) являются статистически значимыми.

Проведя корреляционно-регрессионный анализ между водорастворимым калием и гумусом, выявили следующее:

1) Зависимость очень тесная и прямая (R= 0,9776), т.е. количество содержания водорастворимого калия зависит от содержания гумуса, и чем больше гумуса, тем больше водорастворимого калия (табл.4).

Таблица 4 - Регрессионный комплекс

Генетический горизонт глубина, см		Среднее содержание водорастворимого калия, мг/100г почвы	Среднее содержание гумуса, %	Регрессионная статистика	
Темно-каштановая почва (целина)	A_1(0,5-18)	0,0141	3,0223	R	0,9776
	B_1(18-40)	0,0006	1,1203	R^2	0,9558
	B_2(40-61)	0,0004	0,6083	Нормиров. R^2	0,9447
Темно-каштановая почва (залежь)	A_1(0-23)	0,0137	2,7867	Стандартная ошибка	0,0016
	B_1(23-37)	0,0005	1,0110		
	B_2(37-57)	0,0003	0,4710	Наблюдения	6

2) Табличное значение Фишера $F_{табл}$=7,7086 меньше расчетного значения $F_{факт.}$=86,4959 (табл.5), следовательно, полученная модель ŷ=-0,0042+0,0061x в целом достоверна и значима.

Таблица 5 - Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	$F_{факт.}$	$F_{табл.}$
MS эффекта	1	0,00023	0,000230	86,495871	7,7086
MS ошибок	4	0,00001	0,000003		
Итого	5	0,00024	0,000048		

3) Так как коэффициент b характеризует изменение результата, то проверяем его значимость. В результате сравнения $t_{факт}$ =9,3003> $t_{табл}$=2,7764 приходим к выводу, что параметр b является статистически значимым, и утверждение, о том, что при увеличении гумуса на 1% содержание водорастворимого калия повысится в среднем на 0,0061 мг/100г почвы, надежное (табл.6).

Таблица 6 - Зависимость водорастворимого калия от гумуса

	Коэффи-циенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижняя граница 95%	Верхняя граница 95%
Y-пересечение	-0,0042	0,0012	-3,5611	0,0236	-0,0075	-0,0009
Содержание гумуса, %	0,0061	0,0007	9,3003	0,0007	0,0043	0,0079

4) Коэффициент b находясь в указанных границах (0,0043< b <0,0079) является статистически значимым.

В ходе исследования выявили, что теснота связи между обменным калием и гумусом очень тесная и положительная, так как R=0,9949 (табл.7).

Таблица 7 - Регрессионный комплекс

Генетический горизонт глубина, см		Среднее содержание обменного калия, мг/100г почвы	Среднее содержание гумуса, %	Регрессионная статистика	
Темно-каштановая почва (целина)	A_1(0,5-18)	27,7333	3,0223	R	0,9949
	B_1(18-40)	14,0000	1,1203	R^2	0,9898
	B_2(40-61)	11,0667	0,6083	Нормиров R^2	0,9873
Темно-каштановая почва (залежь)	A_1(0-23)	27,4000	2,7867	Стандартная ошибка	0,9167
	B_1(23-37)	12,4667	1,0110		
	B_2(37-57)	10,5333	0,4710	Наблюдения	6

Проверили модель регрессии на адекватность при помощи F-критерия Фишера (табл.8): табличное значение Фишера оказалось меньше расчетного значения, к тому же факторная дисперсия в несколько раз превышает остаточную дисперсию, следовательно, нулевая гипотеза об отсутствии связи между обменным калием и гумусом отклоняется и делается вывод о существенности этой связи.

Таблица 8 - Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	$F_{факт.}$	$F_{табл.}$
Регрессия	1	326,3365	326,3365	388,3537	7,7086
Остаток	4	3,3612	0,8403		
Итого	5	329,6978	65,9396		

Значимость коэффициента b проверили с помощью t-критерия Стьюдента: $t_{табл}$=2,7764 < $t_{факт}$=19,70669 следовательно b является статистически значимым. Значение параметра b говорит о том, что при увеличении количества гумуса на 1%, содержание обменного калия повысится в среднем на 7,24908 мг/100г почвы (табл.9).

Таблица 9 - Зависимость обменного калия от гумуса

	Коэффи-циенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижняя граница 95%	Верхняя граница 95%
Y-пересечение	6,30262	0,66771	9,43916	0,00070	4,44876	8,15648
Содержание гумуса, %	7,24908	0,36785	19,70669	0,00004	6,22777	8,27039

Анализ доверительных границ 6,22777 < b < 8,27039 показывает значимость коэффициента b в указанном интервале.

Для определения зависимости необменного калия и гумуса рассчитан коэффициент корреляции R=0,9887 и это означает очень тесную и положительную связь (табл.10).

Таблица 10 - Регрессионный комплекс

Генетический горизонт глубина, см		Среднее содержание необменного калия, мг/100г почвы	Среднее содержание гумуса, %	Регрессионная статистика	
	A_1(0,5-18)	73,9333	3,0223	R	0,9887
	B_1(18-40)	20,1667	1,1203	R^2	0,9775

Темно-каштановая почва (целина)	B_2(40-61)	13,4333	0,6083	Нормиров. R^2	0,9719
Темно-каштановая почва (залежь)	A_1(0-23)	69,2667	2,7867	Стандартная ошибка	4,8823
	B_1(23-37)	15,3667	1,0110		
	B_2(37-57)	13,1333	0,4710	Наблюдения	6

Вычисленное значение Фишера $F_{факт}$ =173,6677 признается достоверным, так как оно больше табличного (табл.11). В этом случае нулевая гипотеза об отсутствии связи между необменным калием и гумусом отклоняется и делается вывод о существенности этой связи.

Таблица 11 - Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	$F_{факт.}$	$F_{табл.}$
Регрессия	1	4139,7463	4139,7463	173,6677	7,7086
Остаток	4	95,3487	23,8372		
Итого	5	4235,0950	847,0190		

Так как параметр b оказался значимым - $t_{табл}$=2,7764 < $t_{факт}$=13,1783 (табл.12), то можно утверждать, что при увеличении количества гумуса на 1% содержание необменного калия возрастет в среднем на 25,8мг/100г почвы (доверительный интервал: 20,4 < b < 31, 3).

Таблица 12 - Зависимость необменного калия от гумуса

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижняя граница 95%	Верхняя граница 95%
Y-пересечение	-4,5962	3,5563	-1,2924	0,2658	-14,4700	5,2776
Содержание гумуса, %	25,8188	1,9592	13,1783	0,0002	20,3792	31,2584

В таблице 13 показана обратная, но очень тесная связь между содержанием валового калия и физической глины (R = -0,9685). Для оценки коэффициента корреляции были рассчитаны его стандартная ошибка m_R=0,1246 и значения t- статистики: $t_{табл}$=0,8114 < $t_{факт}$=7,7729, в следствии чего гипотеза H_o отвергается и признается значимость R.

Таблица 13 - Регрессионный комплекс

Генетический горизонт глубина, см		Среднее содержание валового калия, %	Среднее содержание физической глины, %	Регрессионная статистика	
1	2	3	4	5	6
Темно-каштановая почва (целина)	A_1(0,5-18)	1,8767	50,6467	R	-0,9685
	B_1(18-40)	1,7100	54,4000	R^2	0,9379
	B_2(40-61)	1,3633	63,5600	Нормиров. R^2	0,9224
1	2	3	4	5	6
Темно-каштановая почва (залежь)	A_1(0-23)	1,7700	55,0900	Стандартная ошибка	0,0535
	B_1(23-37)	1,7000	53,0500		
	B_2(37-57)	1,4767	61,2633	Наблюдения	6

Дисперсионный анализ (табл.14) показал надежность значения Фишера $F_{факт}$=60,41, так как оно больше табличного, следовательно, нулевая гипотеза об отсутствии связи между содержанием валового калия и физической глины отклоняется и делается вывод о существенности этой связи.

Таблица 14 - Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	$F_{факт.}$	$F_{табл.}$
Регрессия	1	0,1727	0,1727	60,4177	7,7086
Остаток	4	0,0114	0,0029		
Итого	5	0,1841	0,0368		

Из таблицы 15 видно, что при увеличении количества физической глины на 1% содержание валового калия уменьшается в среднем на 0,0372%.

Таблица 15 - Зависимость валового калия от физической глины

	Коэффи-циенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижняя граница 95%	Верхняя граница 95%
Y-пересечение	3,7438	0,2703	13,8492	0,0002	2,9932	4,4943
Физ.глина, %	-0,0372	0,0048	-7,7729	0,0015	-0,0505	-0,0239

Анализ доверительных границ (-0,0505< b=-0,0372< -0,0239) показывает значимость коэффициента b в указанном интервале.

Корреляционно-регрессионный анализ (табл. 16) показал среднюю и обратную зависимость между содержанием водорастворимого калия и физической глины (R = -0,55). Надежность коэффициента корреляции проверена путём вычисления его стандартной ошибки m_R=0,4174 и значения t- статистики: $t_{табл}$=0,8114, $t_{факт}$=1,3187. Сравнивая t-критерий Стьюдента $t_{табл} < t_{факт}$, пришли к выводу что гипотеза H_o отвергается и признается значимость коэффициента корреляции.

Детерминация показывает долю дисперсии водорастворимого калия, объясняемую физической глины = 30,3%, следовательно, доля дисперсии содержания водорастворимого калия, вызванная влиянием остальных не учтенных в модели факторов = 69,7%.

Таблица 16 - Регрессионный комплекс

Генетический горизонт глубина, см		Среднее содержание водорастворимого калия, мг/100г почвы	Среднее содержание физической глины, %	Регрессионная статистика	
Темно-каштановая почва (целина)	A_1(0,5-18)	0,0141	50,6467	R	-0,5505
	B_1(18-40)	0,0006	54,4000	R^2	0,3030
	B_2(40-61)	0,0004	63,5600	Нормиров. R^2	0,1288
Темно-каштановая почва (залежь)	A_1(0-23)	0,0137	55,0900	Стандартная ошибка	0,0065
	B_1(23-37)	0,0005	53,0500		
	B_2(37-57)	0,0003	61,2633	Наблюдения	6

Табличное значение Фишера $F_{табл}$=7,7086 больше расчетного значения $F_{факт.}$=1,73893 (табл.17), следовательно, полученная модель регрессии ŷ=0,0479-0,0008x (табл.21) в целом незначима. В данном случае зависимость между содержанием водорастворимого калия и физической глины нелинейная, возможна экспоненциальная или полиномиальная.

Таблица 17. Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	$F_{факт.}$	$F_{табл.}$
Регрессия	1	0,00007	0,00007	1,73893	7,7086
Остаток	4	0,00017	0,00004		
Итого	5	0,00024	0,00005		

Кроме того параметр b оказался незначимым, т.е. табличное значение критерия Стьюдента оказалось больше расчетного $t_{факт} < t_{табл}$ вследствие чего пришли к выводу о не значимости коэффициента b (табл.18).

Таблица 18 - Зависимость водорастворимого калия от физической глины

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижняя граница 95%	Верхняя граница 95%
Y-пересечение	0,0479	0,0327	1,4646	0,2169	-0,0429	0,1388
Содержание физ.глины, %	-0,0008	0,0006	-1,3187	0,2577	-0,0024	0,0008

Аналогичная ситуация складывается и между обменным калием и содержанием физической глины (табл.19).

Таблица 19 - Регрессионный комплекс

Генетический горизонт глубина, см		Среднее содержание обменного калия, мг/100г почвы	Среднее содержание физической глины, %	Регрессионная статистика	
Темно-каштановая почва (целина)	A_1(0,5-18)	27,7333	50,6467	R	-0,6309
	B_1(18-40)	14,0000	54,4000	R^2	0,3980
	B_2(40-61)	11,0667	63,5600	Нормиров. R^2	0,2476
Темно-каштановая почва (залежь)	A_1(0-23)	27,4000	55,0900	Стандартная ошибка	7,0439
	B_1(23-37)	12,4667	53,0500		
	B_2(37-57)	10,5333	61,2633	Наблюдения	6

В результате исследования выявили надежность коэффициента корреляции путем вычисления его стандартной ошибки mR=0,3879 и сравнения значении t- статистики: tтабл=0,8114 < tфакт=1,6263. Таким образом, зависимость между обменным калием и содержанием физической глины средняя и обратная (R = -0,63).

Из таблицы 20 видно, что значение $F_{табл}$=7,7086 больше расчетного значения $F_{факт.}$= 2,6450, т.е. зависимость между содержанием водорастворимого калия и физической глины нелинейная, возможна экспоненциальная или полиномиальная и линейная модель регрессии ŷ=74,94-1,03x незначима.

Таблица 20 - Регрессионный анализ

	df	SS	MS	$F_{факт.}$	$F_{табл.}$		Коэф	m	t
Регрессия	1	131,2338	131,2338	2,65	7,71	Y-пересеч	74,9	35,6	2,1
Остаток	4	198,4639	49,6160			физ.глина, %	-1,0	0,6	-1,6
Итого	5	329,6978	65,9396						

Исследование показало (табл.21), что зависимость между содержанием необменного калия и физической глины средняя и обратная (R=-0,6). Оценка коэффициента корреляции ($t_{табл}$=0,8 < $t_{факт}$=1,5) подтвердила надежность R. В данном случае наблюдается нелинейная зависимость между содержанием необменного калия и физической глины, так как полученная линейная модель регрессии ŷ=230,15-3,48x незначима ($F_{факт.}$= 2,2<$F_{табл}$=7,7).

Таблица 21 - Регрессионный комплекс

Генетический горизонт глубина, см		Среднее содержание необменного калия, мг/100г почвы	Среднее содержание физической глины, %	Регрессионная статистика	
Темно-каштановая почва (целина)	A_1(0,5-18)	73,9333	50,6467	R	-0,5974
	B_1(18-40)	20,1667	54,4000	R^2	0,3568
	B_2(40-61)	13,4333	63,5600	Нормиров. R^2	0,1961
Темно-каштановая почва (залежь)	A_1(0-23)	69,2667	55,0900	Стан. ошибка	26,0952
	B_1(23-37)	15,3667	53,0500	$t_{факт}$ (R)	1,4897
	B_2(37-57)	13,1333	61,2633	Наблюдения	6

Регрессионный анализ

	df	SS	MS	$F_{факт.}$	$F_{табл.}$		Коэф	m	T
Регрессия	1	1511,25	1511,25	2,22	7,71	Y-пересеч.	230,15	131,95	1,7
Остаток	4	2723,84	680,96			физ.глина, %	-3,48	2,33	-1,5
Итого	5	4235,09	847,02						

Из корреляционной матрицы (табл. 22) видно, что зависимость между содержанием валового калия и водорастворимым калием достаточно тесная и прямая (Rx_1x_2 = 0,712). Зависимость обменного (Rx_1x_3 = 0,783) и необменного калия (Rx_1x_4=0,753) от содержания валового калия также прямая и достаточно тесная. Теснота связи между водорастворимым калием, обменным калием и необменным калием очень сильная и положительная (Rx_2x_3=0,991, Rx_2x_4=0,997, Rx_3x_4=0,997).

Таблица 22 - Корреляционная матрица

	Валовый калий (x_1)	Водорастворимый калий (x_2)	Обменный калий (x_3)	Необменный калий (x_4)
Валовый калия (x_1)	1			
Водорастворимый калий (x_2)	0,712	1		
Обменный калий (x_3)	0,783	0,991	1	
Необменный калий (x_4)	0,753	0,997	0,997	1

Надежность R проверили путем сопоставления значений t- статистики: $t_{табл}<t_{факт}$ и пришли к выводу что расчитанные показатели корреляции достоверны и значимы (табл.23).

Таблица 23 - Значения критерии Стьюдента ($t_{факт}$)

	Валовый калий	Водорастворимый калий	Обменный калий	$t_{табл}$
Водорастворимый калий	2,0282	-	-	0,8114
Обменный калий	2,5138	14,5820	-	
Необменный калий	2,2911	24,2858	25,6237	

Заключение. Табличное значение Фишера $F_{a=0,05}$ равна 4,07 для (df) $V_A = 3$ и $V_e = 8$. Следовательно, расчетное значение Фишера $F_{ф/е}$ больше табличного значения F_a. Таким образом, с вероятностью P = 0,95, нулевая гипотеза отклоняется и можно утверждать, что результат в целом значима с высокой достоверностью. Связь между валовым калием и гумусом прямая и тесная, т.е. количество содержания валового калия зависит от содержания гумуса, и чем больше гумуса, тем больше валового калия. Корреляционно-регрессионный анализ между водорастворимым калием и гумусом выявил очень тесную и прямую зависимость (R= 0,9776) между количеством содержания водорастворимого калия и содержанием гумуса, и чем больше гумуса, тем больше водорастворимого калия. Нулевая гипотеза об отсутствии связи между обменным калием и гумусом отклоняется и делается вывод о существенности этой связи. Нулевая гипотеза об отсутствии связи между необменным калием и гумусом отклоняется и делается вывод о существенности этой связи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Кауричев, И. С. Почвоведение /Кауричев, И. С. //- М:. Колос, 1969. - с.536.

2 Штефан, В.К. Жизнь растений и удобрений /Штефан, В.К.//- М.: Колос, 1981. - 84 с.

3 Ларешин, В.Г., и др. Сохранение и повышение плодородия земель сельскохозяйственного назначения /Ларешин, В.Г., Бушуев, Н.Н., Скориков, В.Т., Шуравилин, А.В. //– М.: РУДН, 2008. - 172 с.

4 Смирнов, П.М., и др. Агрохимия /Смирнов, П.М., Муравин, Э.А. // - М., «Колос», 1977. - 240 с.

5 Цитович, И.К. Химия с сельскохозяйственным анализом /Цитович, И.К. // -М:, Колос, 1970. - 535 с.

6 Минеев, В.Г. Агрохимия и экологические функции калия /Минеев, В.Г. //-М. Наука, 1978.- 293 с.

7 Chatterjee, S., et al. Geostatistical approach for management of soilnutrients with special emphasis on different forms of potassium considering their spatial variation in intensivecropping system of West Bengal / Chatterjee, S., Santra, P., Majumdar, K., Ghosh, D., Das, I., Sanyal, S.K. //India, Environ Monit Assess, 2015. – P. -187:183.

8 Yasrebi. J., et al Characterizing spatial variability of soil properties in alluvial soils of India using geostatistics and geographical information system /Yasrebi. J., Saffari, M., Fathi, H., Karimian, N., Emadi, M., Baghernejad, M. // Spatial variability of soil fertility properties forprecision agriculture in southern Iran. J App Sci. 8: 2008. – P. -1642–1650.

9 Shi. W., et al. Surface modelling of soil pH / Shi. W., Liu, J., Du, Z., Song, Y., Chen, C., Yue, T. // Geoderma, 2009. – P. - 113–119.

10 Liu. CL., et al. Effects of land use on spatial patterns of soil properties in a rocky mountain area ofNorthern China / Liu. CL., Wu, YZ., Lui, QJ. //Arab J Geosci, 2015. – P. - 1181–1194.

11 Amirinejad, A.A., et al. Assessment and mapping of spatialvariation of soil physical health in a farm / Amirinejad, A.A., Kamble, K., Aggarwal, P., Chakraborty, D., Pradhan, S., Mittal, RB. // Geoderma, 2011. – P. - 292–303.

12 Shukla, AK, et al. Spatial variability of soil micronutrients in the intensively cultivated Trans-Gangetic Plains of India / Shukla, AK, Behera, SK., Lenka, NK., Tiwari, PK., Malik, RS., Sinha, NK., Singh, VK., Patra, AK., Chaudhary, SK. // Soil and Tillage Researc, - 2016.

13 González, I., et al, Spatial distribution of copper and pH in soils affected by intensiveindustrial activities in Puchuncaví and Quintero, central Chile / 13. González, I., Neaman, A., Rubio, P., Cortés, A. // J Soil Sci Plant Nutr, 2014. – P. - 943–953.

14 Reza, S.K., et al. Characterizing spatial variability of soil properties in alluvial soils of India using geostatisticsand geographical information system / Reza, S.K., Nayak, D.C., Mukhopadhyay, S., Chattopadhyay, T. S., Singh, K. // Archives of Agronomy and Soil Science, 2017. – P. - 1489-1498

15 Zuquim, G., et al. Introducing a map of soil base cation concentration, an ecologically relevant GIS-layer for Amazonian forests / Zuquim, G., Van Doninck, J., Chaves, P.et al // Geoderma Regional. – 2023. – Vol. 33. – P. – 00645.

16 Дурынина, Е.П., и др. Агрохимический анализ почв, растений, удобрений /Дурынина, Е.П., Егоров, В.С. //-М.: Изд-во МГУ. - 1998 г. - 113 с

17 Возбуцкая, А.Е. Химия почв. Учебник и учебные пособия для сельскохозяйственных ВУЗОВ / Возбуцкая, А.Е. //- М. – 1935. - 193 с.

18 Дмитриев, Е.А. Математическая статистика в почвоведении /Дмитриев, Е.А. //Учебник Науч. ред. Благовещенский, Ю. Н. Изд. 3-е, испр. и доп. —М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. — 328 с.

19 Айвазян, С., и др. Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных / Айвазян, С., Енюков, И. С., Мешалкин, Л. // Финансы и статистика, 1983. С. 472

20 Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) /Доспехов, Б.А. //5-е изд., доп. и перераб. – М. АГРОПРОМИЗДАТ, 1985, - 350 с

REFERENCES

1 Kaurichev, I. S. Pochvovedenie /Kaurichev, I. S. //- M:. Kolos, 1969. - s.536.

2 SHtefan, V.K. ZHizn' rastenij i udobrenij /SHtefan, V.K.//- M.: Kolos, 1981. - 84 s.

3 Lareshin, V.G., i dr. Sohranenie i povyshenie plodorodiya zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya /Lareshin, V.G., Bushuev, N.N., Skorikov, V.T., SHuravilin, A.V. //– M.: RUDN, 2008. - 172 s.

4 Smirnov, P.M., i dr. Agrohimiya /Smirnov, P.M., Muravin, E.A. // - M., «Kolos», 1977. - 240 s.

5 Citovich, I.K. Himiya s sel'skohozyajstvennym analizom /Citovich, I.K. // -M:, Kolos, 1970. - 535 s.

6 Mineev, V.G. Agrohimiya i ekologicheskie funkcii kaliya /Mineev, V.G. //-M. Nauka, 1978.- 293 s.

7 Chatterjee, S., et al. Geostatistical approach for management of soilnutrients with special emphasis on different forms of potassium considering their spatial variation in intensivecropping system of West Bengal / Chatterjee, S., Santra, P., Majumdar, K., Ghosh, D., Das, I., Sanyal, S.K. //India, Environ Monit Assess, 2015. – P. -187:183.

8 Yasrebi. J., et al Characterizing spatial variability of soil properties in alluvial soils of India using geostatistics and geographical information system /Yasrebi. J., Saffari, M., Fathi, H., Karimian, N., Emadi, M., Baghernejad, M. // Spatial variability of soil fertility properties forprecision agriculture in southern Iran. J App Sci. 8: 2008. – P. -1642–1650.

9 Shi. W., et al. Surface modelling of soil pH / Shi. W., Liu, J., Du, Z., Song, Y., Chen, C., Yue, T. // Geoderma, 2009. – P. - 113–119.

10 Liu. CL., et al. Effects of land use on spatial patterns of soil properties in a rocky mountain area ofNorthern China / Liu. CL., Wu, YZ., Lui, QJ. //Arab J Geosci, 2015. – P. - 1181–1194.

11 Amirinejad, A.A., et al. Assessment and mapping of spatialvariation of soil physical health in a farm / Amirinejad, A.A., Kamble, K., Aggarwal, P., Chakraborty, D., Pradhan, S., Mittal, RB. // Geoderma, 2011. – P. - 292–303.

12 Shukla, AK, et al. Spatial variability of soil micronutrients in the intensively cultivated Trans-Gangetic Plains of India / Shukla, AK, Behera, SK., Lenka, NK., Tiwari, PK., Malik, RS., Sinha, NK., Singh, VK., Patra, AK., Chaudhary, SK. // Soil and Tillage Researc, - 2016.

13 González, I., et al, Spatial distribution of copper and pH in soils affected by intensiveindustrial activities in Puchuncaví and Quintero, central Chile / 13. González, I., Neaman, A., Rubio, P., Cortés, A. // J Soil Sci Plant Nutr, 2014. – P. - 943–953.

14 Reza, S.K., et al. Characterizing spatial variability of soil properties in alluvial soils of India using geostatisticsand geographical information system / Reza, S.K., Nayak, D.C., Mukhopadhyay, S., Chattopadhyay, T. S., Singh, K. // Archives of Agronomy and Soil Science, 2017. – P. - 1489-1498

15 Zuquim, G., et al. Introducing a map of soil base cation concentration, an ecologically relevant GIS-layer for Amazonian forests / Zuquim, G., Van Doninck, J., Chaves, P.et al // Geoderma Regional. – 2023. – Vol. 33. – P. – 00645.

16 Durynina, E.P., i dr. Agrohimicheskij analiz pochv, rastenij, udobrenij /Durynina, E.P., Egorov, V.S. //-M.: Izd-vo MGU. - 1998 g. - 113 s

17 Vozbuckaya, A.E. Himiya pochv. Uchebnik i uchebnye posobiya dlya sel'skohozyajstvennyh VUZOV / Vozbuckaya, A.E. //- M. – 1935. - 193 s.

18 Dmitriev, E.A. Matematicheskaya statistika v pochvovedenii /Dmitriev, E.A. //Uchebnik Nauch. red. Blagoveshchenskij, YU. N. Izd. 3-e, ispr. i dop. —M.: Knizhnyj dom «LIBROKOM», 2009. — 328 s.

19 Ajvazyan, S., i dr. Prikladnaya statistika. Osnovy modelirovaniya i pervichnaya obrabotka dannyh / Ajvazyan, S., Enyukov, I. S., Meshalkin, L. // Finansy i statistika, 1983. S. 472

20 Dospekhov, B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoj obrabotki rezul'tatov issledovanij) /Dospekhov, B.A. //5-e izd., dop. i pererab. – M. AGROPROMIZDAT, 1985, - 350 s

ТҮЙІН

Батыс Қазақстан облысының зоналық топырақтары каштан топырақтары болып табылады. Негізгі ауылшаруашылық дақылдары каштан топырақтарында өсіріледі: дәнді, көкөніс, жеміс-жидек, жем-шөп, бақша дақылдары және басқа да дақылдар, сондай-ақ жайылымдық және шабындық жерлерге пайдаланылады. Сондықтан топырақ құнарлығын, олардың қасиеттерін, агрохимиялық көрсеткіштерін зерттеу құрғақ дала аймағының өзекті мәселелерінің бірі болды және болып қала береді. Алынған мәліметтерді өңдеу және сенімді нәтижелерді алу компьютерлік технологияларсыз мүмкін емес. Соңғы жылдары топырақты зерттеу цифрлық форматта жүргізілуде. Қазақстанның барлық топырақтары цифрландырылған. Талдау нәтижелері әртүрлі бағдарламаларда өңделеді. Топырақты талдау нәтижелері дисперсиялық талдау әдісімен статистикалық түрде өңделді. Дисперсиялық талдау кезінде калий мен гумустың жалпы формалары арасындағы байланыс тікелей және тығыз екендігі анықталды. Жалпы калий мөлшеріне гумустың мөлшері әсер етеді. Регрессия моделі сенімді және нақты, ол калий мен гумустың жалпы формаларының

мазмұнына сандық тәуелділіктің дұрыстығын растайды. Топырақтағы гумустың мөлшері артқан сайын калийдің жалпы формаларының мөлшері артады. Салыстыру кезінде α және b коэффициенттері үшін Стьюденттің t-критерийінің есептік мәні $t_{нақты} > t_{кесте}$ статистикалық маңызды болып табылды және гумустың жалпы калий құрамына айтарлықтай әсер ететіндігі туралы қорытындыға келді. Суда еритін калий мен қарашірік арасындағы корреляциялық-регрессиялық талдау суда еритін калий мен қарашірік арасындағы байланысты да көрсетті.

Суда еритін калий мен қарашірік арасындағы корреляциялық-регрессиялық талдау суда еритін калий мөлшері мен гумустың мөлшері арасындағы өте тығыз және тікелей байланыстығы (R= 0,9776) анықтады, ал гумус неғұрлым көп болса, суда еритін калий соғұрлым көп болады. Калий мен гумустың алмасуы арасындағы байланыстың жоқтығы туралы нөлдік гипотеза қабылданбайды және осы байланыстың маңыздылығы туралы қорытынды жасалады. Алмастырылмаған калий мен қарашірік арасындағы байланыстың жоқтығы туралы нөлдік гипотеза қабылданбайды және осы байланыстың маңыздылығы туралы қорытынды жасалады.