

# ОПТИМИЗАЦИЯ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВАХ ЮГА КАЗАХСТАНА: ДИАГНОСТИКА И РАСЧЕТ ДОЗ УДОБРЕНИЙ

Лектор: Амиров Бахытбек Мустафаулы,  
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент,  
заведующий отделом агрохимии

**Цель** - Оптимизация системы минерального питания сельскохозяйственных культур на засоленных почвах юга Казахстана на основе диагностики почвенного состояния и расчета рациональных доз удобрений для повышения урожайности и устойчивости растений к засолению

## **Задачи:**

- Оценка агрохимической характеристики засоленных почв (содержание гумуса, рН, содержание подвижных питательных элементов, степень засоления).
- Изучение роста и развития растений в зависимости уровня обеспеченности питательными элементами и степени засоленности почвы.
- Подобрать оптимальные нормы удобрений для основных культур региона (кукуруза, бахчевые культуры) с учетом засоленности почвы на основе математических моделей.
- Показать экономическую эффективность применения удобрений на засоленных почвах.

## **Практическая ценность для фермера:**

- Дает понятные рекомендации, как адаптировать дозы удобрений под фактическое состояние почвы – степень засоления и уровень обеспеченности питательными элементами.
- Позволяет снизить затраты на удобрения за счет их рационального использования.
- Повышает урожайность и качество продукции даже при умеренном засолении.
- Снижает риск вторичного засоления и деградации почв.
- Создает основу для цифрового мониторинга питания растений и управления плодородием.

## **Введение**

Уважаемые коллеги, главы фермерских хозяйств и практикующие агрономы! Сегодня мы поговорим об одной из самых острых и актуальных проблем современного сельского хозяйства в южных регионах Казахстана — засолении почв и о том, как с помощью научно обоснованной системы минерального питания можно не только минимизировать негативные последствия этого явления, но и добиваться высокой урожайности даже в сложных условиях.

Юг Казахстана — один из самых продуктивных аграрных регионов страны. Здесь сосредоточены основные площади орошаемого земледелия, выращиваются такие культуры, как хлопчатник, кукуруза, бахчевые, картофель, лук и другие. Однако параллельно с высоким агроэкологическим потенциалом регион сталкивается с серьезными мелиоративными вызовами. До 40–60% орошаемых земель в Туркестанской, Кызылординской и Жамбылской областях подвержены засолению, что напрямую снижает урожайность на 30–70%.

Это не просто цифры. Это реальные потери фермеров, снижение продовольственной безопасности и деградация почвенных ресурсов. При этом применение удобрений в Казахстане находится на крайне низком уровне — всего 2,4 кг азота и 1,3 кг фосфора на гектар пашни, что сопоставимо с показателями Северной Кореи, Судана и Йемена. Мы занимаем последнее место среди стран Центральной Азии и ЕАЭС по использованию удобрений.

Но главная проблема — не столько в том, сколько удобрений мы вносим, сколько в том, как мы их вносим. Большинство фермеров продолжают опираться на устаревшие нормы 60–80-х годов прошлого века, игнорируя реальное состояние почвы, степень засоленности, климатические особенности и потребности конкретных культур.

Поэтому *цель* нашей лекции — предложить современную, научно обоснованную систему оптимизации минерального питания растений на засоленных почвах, основанную на:

- агрохимической диагностике;
- расчете доз удобрений с учетом реальных запасов питательных элементов;
- использовании математических моделей и цифровых технологий;
- адаптации практик под конкретные агроклиматические условия.

### **Проблема засоления почв в южном Казахстане**

Засоление — это накопление растворимых солей в почвенном профиле, главным образом хлоридов и сульфатов натрия, магния и кальция. В условиях юга Казахстана основу засоления составляют  $\text{NaCl}$  и  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , а также смешанные формы, называемые сульфатно-хлоридными.

Засоление делится на два типа:

- Первичное — связанное с геологическими и климатическими условиями (естественное).
- Вторичное — вызванное человеческой деятельностью: нерациональным орошением, избыточным поливом, отсутствием дренажа, неглубоким залеганием грунтовых вод.

Именно вторичное засоление стало доминирующим фактором деградации орошаемых земель. Когда фермер поливает поле чрезмерно, вода испаряется, а соли остаются в почве. Со временем они накапливаются в корнеобитаемом слое и нарушают физиологию растений.

#### Влияние засоления на растения

Засоление воздействует на растения двумя основными путями:

1. Осмотический стресс — повышенная концентрация солей в почвенном растворе снижает водный потенциал. В результате корни хуже поглощают воду, даже если почва влажная. Возникает физиологическая засуха, замедляется рост, снижается тургор клеток.

2. Ионный (токсический) стресс — избыток ионов натрия ( $\text{Na}^+$ ) и хлора ( $\text{Cl}^-$ ) нарушает ионный баланс в клетках.  $\text{Na}^+$  вытесняет калий ( $\text{K}^+$ ) и кальций ( $\text{Ca}^{2+}$ ), что приводит к нарушению работы ферментов, фотосинтеза, транспорта питательных веществ и даже к повреждению мембран.

Особенно чувствителен к засолению фосфор — он связывается в труднодоступные формы, например, в фосфат кальция при высоком pH. Азот также страдает — при  $\text{pH} > 8$  аммонийные формы азота легко превращаются в летучий аммиак и улетучиваются. Калий, в свою очередь, хуже усваивается из-за конкуренции с  $\text{Na}^+$ .

Поэтому даже при внесении высоких доз удобрений растения могут испытывать дефицит питания. Это классическая ситуация: «почва сытая, а растение голодное».

#### Классификация засоленности

Для оценки степени засоления используется электропроводность (ЕС) водной вытяжки. В международной практике чаще применяют насыщенную пасту, но в полевых условиях в Казахстане удобнее использовать вытяжку 1:5 (1 часть почвы на 5 частей воды).

На основе наших исследований в Шаульдерском массиве Туркестанской области (76 проб с глубиной до 1 м) предложена следующая классификация:

- < 1 - Незасоленная
- 1,0–2,0 - Слабозасоленная
- 2,0–4,0 - Среднезасоленная
- 4,0–8,0 - Сильнозасоленная

> 8 - Очень сильнозасоленная

Между ЕС и общей суммой солей установлена высокая корреляция ( $R = 0,951$ ). Наиболее точной оказалась полиномиальная модель третьей степени:

$$y = 0,002x^3 - 0,0331x^2 + 0,3409x - 0,0298; R^2 = 0,947; MSE = 0,034$$

Эта модель позволяет быстро и надежно прогнозировать содержание солей по показаниям портативного кондуктометра — что крайне важно для полевой диагностики.

### **Современное состояние системы удобрений в Казахстане**

Несмотря на наличие крупных производителей — КазАзот и Казфосфат — и некоторое субсидирование, система применения удобрений в стране остается недостаточно научной.

- Устаревшие нормы не учитывают текущее состояние почв.
- Субсидии выдаются без привязки к агрохимическим картограммам.
- Фермеры получают рекомендации "под все поля", без дифференциации.
- Не существует системного мониторинга эффективности внесения удобрений.

Это приводит к неэффективному использованию ресурсов, а иногда — к ухудшению состояния почв (вторичное засоление, ощелачивание).

Для сравнения уровня применения удобрений в мире приводим некоторые данные:

- В Египте — 330 кг N/га
- В Туркменистане — 310 кг N/га
- В Китае — 190 кг N/га
- В Бангладеш — 120,6 кг  $P_2O_5$ /га
- В Узбекистане — 12,1 кг  $P_2O_5$ /га

В Казахстане на гектар пашни вносят всего 2,4 кг азота и 1,3 кг фосфора на гектар. Это сотни раз меньше, чем в ведущих странах!

Однако просто «вносить больше» — неправильный путь. Ключ — в рациональном, сбалансированном и дифференцированном подходе.

### **Методы определения доз удобрений**

Существует три основных подхода к расчету доз удобрений:

Эмпирический метод

- Основан на усредненных данных полевых опытов.
- Прост в применении, но не учитывает индивидуальные особенности поля.
- Часто приводит к перерасходу или недостатку питания.

### Метод элементарного баланса

Наиболее распространенный, но наименее точный, так как использует сильно варьирующие коэффициенты:

$$\text{Доза удобрений} = (\text{вынос культуры} - \text{запасы в почве} \times \text{КИП}) / \text{КИУ}$$

Где:

- Вынос — количество элемента, выносимого урожаем.
- Запасы в почве — содержание подвижных форм, переведенное в кг/га (например, умножением на 3,25 для сероземов).
- КИП — коэффициент использования элемента из почвы.
- КИУ — коэффициент использования из удобрений.

Этот метод учитывает все статьи прихода и расхода, но его точность зависит от достоверности КИП и КИУ, которые сильно меняются в зависимости от погоды, типа почвы и культуры.

### Метод математического моделирования

Самый перспективный подход, особенно в условиях точного земледелия. Он позволяет:

- Учитывать комплекс факторов: N, P, K, степень засоления (S), гумус, рельеф.
- Строить регрессионные модели урожайности.
- Прогнозировать ответ растений на внесение удобрений.
- Интегрировать данные GIS, дронов, почвенных анализов.

Пример модели для кукурузы:

$$Y = 11,20 + 0,0106 \cdot Nt - 7,849 \cdot S - 0,000177 \cdot Nt^2; R^2 = 0,866$$

Эта формула показывает, что урожайность зависит не линейно, а параболически от суммарного азота почвы и удобрений, и отрицательно — от засоления.

## Практические примеры расчета норм удобрений

Расчет норм NPK для картофеля (КХ «Нам», Жетысуская обл., 2023 г.)

Показатели	Ед. изм	Расчет норм удобрений под урожай картофеля по выносу и содержанию NPK		
		N	P	K
Вынос элементов питания с 1 тонн продукции картофеля (при соответствующем урожае побочной продукции)	кг	4,2	1,9	5,4
Усредненная обеспеченность почвы подвижными элементами питания (на основе лабораторного анализа)	мг/кг	46,2	71,3	260,0
Запас подвижных элементов питания в почве	кг/га	150,2	231,7	845,0
Коэффициент использования элементов питания из почвы на опытном участке	%	60,6	34,5	26,3
Получает картофель из почвы (кг с 1 га)	кг	91,0	79,9	222,2
Без внесения удобрения получим урожай с 1 га	т	21,7	42,1	41,2
Запланированный урожай картофеля с гектара	т/га	50,0		
Вынос элементов питания с планируемым урожаем картофеля	кг	210,0	95,0	270,0
Необходимо внести в почву элементов питания, для получения планируемого урожая картофеля	кг/га	119,0	15,1	47,8
Обобщенный коэффициент использования элементов питания из удобрения	%	72,8	30,5	61,8
Необходимо внести в почву удобрения с учетом КИУ, кг д.в на 1 га	кг/га	163	49	77
Фактическая валовая урожайность	т/га	49,5		
Расчетная валовая урожайность по модели $Y = 28,2517 + 0,0785N + 0,4751P^{0,5} + 0,374K^{0,5}$ ; $R^2 = 0,849$	т/га	47,9		
Расчетная валовая урожайность по модели $Y = -14,741 + 0,0721(NK)^{0,5} + 0,0384(PK)^{0,5}$ ; $R^2 = 0,772$	т/га	43,5		

Расчет норм NPK для репчатого лука (КХ «Нам», Жетысуская обл., 2023 г.)

Показатели	Ед. изм	Расчет доз удобрений под урожай лука по выносу и содержанию NPK		
		N	P	K
Вынос элементов питания с 1 тонн продукции лука (при соответствующем урожае побочной продукции)	кг	2,0	0,9	1,8
Усредненная обеспеченность почвы подвижными элементами питания (на основе лабораторного анализа)	мг/кг	48,3	27,8	197,5
Запас подвижных элементов питания в почве	кг/га	157,0	90,4	641,9
Коэффициент использования элементов питания из почвы на опытном участке	%	80,2	25,0	21,3
Получает лук из почвы (кг с 1 га)	Кг	125,9	22,6	136,5
Без внесения удобрения получим урожай	т/га	64,6	25,1	75,9
Запланированный урожай лука с гектара	т/га	95,0		
Вынос элементов питания с планируемым урожаем лука	Кг	185,3	85,5	171,0
Необходимо внести в почву элементов питания, для получения планируемого урожая лука	кг/га	59,4	62,9	34,5
Обобщенный коэффициент использования элементов питания из удобрения	%	54,1	27,4	69,5
Необходимо внести в почву удобрения с учетом КИУ, кг д.в на 1 га	кг/га	110	230	50
Фактическая валовая урожайность	т/га	93,4		
Расчетная валовая урожайность $Y = 52,087 + 0,9256N^{0,5} + 1,2682P^{0,5} + 0,7736K^{0,5} + 0,0502(NP)^{0,5}$ ; $R^2 = 0,932$	т/га	94,4		

Расчет норм NPK для хлопчатника (КХ «Сабыр», Мактааральский район, 2023 г.)

Показатели	Ед. изм	Расчет доз удобрений под урожай лука по выносу и содержанию NPK		
		N	P	K
Вынос элементов питания с 1 тонн продукции хлопчатника (при соотв. побочной продукции)	кг	35,1	10,4	42,1
Усредненная обеспеченность почвы подвижными элементами питания	мг/кг	44,0	36,5	406,8
Запас подвижных элементов питания в почве	кг/га	143	119	1322
Обобщенный коэффициент использования элементов питания из почвы	%	75,3	20,8	17,5
Получает хлопчатник из почвы (с 1 га/кг)	кг	107,7	24,7	231,2
Без внесения удобрения получим урожай с 1 га	т	3,1	2,4	5,5
Запланированный урожай хлопчатника с гектара	т/га	4,5		
Вынос элементов питания с планируемым урожаем	кг	157,9	46,6	189,2
Необходимо внести в почву элементов питания, для получения планируемого урожая	кг/га	50,1	21,9	-
Обобщенный коэффициент использования элементов питания из удобрения	%	61,8	13,1	55,0
Необходимо внести в почву удобрения с учетом КИУ, кг д.в на 1 га	кг/га	81	167	-
Фактическая валовая урожайность	т/га	4,8		
Расчетная валовая урожайность $Y = - 34,296 - 0,0358N_s + 3,3828N_s^{0,5} + 1,0042P_s^{0,5} + 0,4553K_s^{0,5} - 6,1841S^{0,5} - 0,0608(N_sP_s)^{0,5} - 0,0323(N_sK_s)^{0,5}$ ; $R^2=0,978$	т/га	5,1		

Расчет норм NPK для дыни (КХ «Сабыр», Мактааральский район, 2023 г.)

Показатели	Ед. изм	Расчет доз удобрений под урожай лука по выносу и содержанию NPK		
		N	P	K
Вынос элементов питания с 1 тонн продукции хлопчатника (при соотв. побочной продукции)	кг	5,3	1,6	10,2
Усредненная обеспеченность почвы подвижными элементами питания	мг/кг	30,8	42,5	340,0
Запас подвижных элементов питания в почве	кг/га	100,1	138,1	1105,0
Обобщенный коэффициент использования элементов питания из почвы	%	50,3	14,9	12,3
Получает дыня из почвы (с 1 га/кг)	кг	50,4	20,6	135,9
Без внесения удобрения получим урожай с 1 га	т	9,5		
Запланированный урожай дыни с гектара	т/га	15,0		
Вынос элементов питания с планируемым урожаем	кг	79,5	24,0	153,0
Необходимо внести в почву элементов питания, для получения планируемого урожая	кг/га	29,1	3,4	17,1
Обобщенный коэффициент использования элементов питания из удобрения	%	35,7	11,4	68,1
Необходимо внести в почву удобрения с учетом КИУ, кг д.в на 1 га	кг/га	82	30	25
Фактическая валовая урожайность	т/га	15,2		
Расчетная валовая урожайность $Y = 9,887 + 5,274N^{0,5} + 0,027(NsPs)^{0,5} - 0,153(NsKs)^{0,5} + 2,659(KsS)^{0,5} - 24,56S - 77,15S^{0,5};$ $R^2 = 0,824$	т/га	14,9		

Для оценки засоленности почв применён экспресс-метод кондуктометрии по электропроводности (ЕС) водной вытяжки (1:5). Исследования проведены на почвах Шаульдерского массива Туркестанской области, различающихся по степени засоления. Проанализировано 76 образцов с глубины до 1 м, измерения ЕС (0,254–15,420 мСм/см) выполнены кондуктометром FieldScout CTS 50С. По данным ЕС и сумме солей проведена классификация по Richards (1954) и FAO. Построено пять регрессионных моделей, из которых полиномиальная третьей степени ( $R^2 = 0,947$ ;  $MSE = 0,034$ ) наиболее точно описала зависимость между ЕС и содержанием солей (0,077–4,518 %). Почвы варьировали от незасоленных до сильно засоленных.

Анализ показывает четкую положительную корреляцию между электропроводностью и суммой солей (рис.). Зависимость между электропроводностью водной вытяжки и содержанием растворимых солей характеризуется четко выраженной положительной корреляцией ( $R = 0,951$ ), при которой с увеличением электропроводности возрастает и концентрация солей, что подтверждает целесообразность применения метода кондуктометрии в качестве экспресс-оценки степени засоленности почвы.

На основе анализа значений электропроводности (ЕС) нами проведено условное ранжирование исследованных почв по степени их засоленности.

В целях прогнозирования содержания солей в почве по данным электропроводности (ЕС) были построены математические модели: линейная, полиномиальная (2-й и 3-й степени), логарифмическая, и степенная.

Оценка качества различных регрессионных моделей для зависимости между электропроводностью (ЕС) и суммой солей (%)

Модель	Формула	R <sup>2</sup>	MSE
Линейная	$y = 0,2361x - 0,0031$	0,904	0,062
Логарифмическая	$y = 0,5713\ln(x) + 0,438$	0,668	0,215
Степенная	$y = 0,2536x^{0,9063}$	0,903	0,083
Полиномиальная (2-й степени)	$y = 0,0089x^2 + 0,1375x + 0,1109$	0,929	0,046
Полиномиальная (3-й степени)	$y = 0,002x^3 - 0,0331x^2 + 0,3409x - 0,0298$	0,947	0,034

На основе полученной модели построена шкала соответствия суммы солей к показаниям кондуктометра.

Шкала соответствия суммы солей к показаниям кондуктометра

ЭП, мСм/см	сумма солей, %	ЭП, мСм/см	сумма солей, %	ЭП, мСм/см	сумма солей, %	ЭП, мСм/см	сумма солей, %
0,200	0,037	2,200	0,581	4,200	0,966	6,200	1,288
0,400	0,101	2,400	0,625	4,400	1,000	6,400	1,320
0,600	0,163	2,600	0,668	4,600	1,033	6,600	1,353
0,800	0,223	2,800	0,709	4,800	1,065	6,800	1,387
1,000	0,280	3,000	0,749	5,000	1,097	7,000	1,421
1,200	0,335	3,200	0,788	5,200	1,129	7,200	1,455
1,400	0,388	3,400	0,825	5,400	1,161	7,400	1,491
1,600	0,439	3,600	0,862	5,600	1,192	7,600	1,527
1,800	0,488	3,800	0,897	5,800	1,224	7,800	1,565
2,000	0,536	4,000	0,932	6,000	1,256	8,000	1,603

### Моделирование электропроводности засоленных почв в зависимости от гидрометеорологических и мелиоративных факторов

Для изучения ЕС и характера распределения питательных элементов почв в зависимости от норм зимне-весенних осадков и промывных поливов перед внесением удобрений нами были проведены отборы почвенных проб и проанализированы на ЕС почвенной вытяжки (ЕС, мСм/см), содержание влаги и подвижных питательных элементов. Полученные результаты были подвергнуты статистической обработке методами регрессионного анализа.

Построенные регрессионные модели зависимости электропроводности (ЕС) почв от осадков ( $X_1$ ), влажности почвы ( $X_2$ ) и промывной нормы ( $X_3$ ) показали высокую степень достоверности и устойчивости как для слоя 0–25 см, так и для слоя 0–50 см.

Для верхнего слоя коэффициент детерминации составил  $R^2 = 0,84$ , а для слоя 0–50 см —  $R^2 = 0,96$ , что свидетельствует о высокой степени объясненной вариации и адекватности моделей. Верхний слой (0–25 см) характеризуется большей изменчивостью показателей вследствие активного взаимодействия с атмосферными осадками и интенсивного испарения.

Для слоя 0–50 см выявлены более устойчивые зависимости: наибольшее влияние оказали влажность почвы ( $X_2$ ), ее квадрат ( $X_2^2$ ) и взаимодействие факторов  $X_2X_3$ .

$$Y = 8,195 - 0,9179X_2 + 0,0511X_3 + 0,0002X_1^2 + 0,023X_2^2 - 9,6E-05X_3^2$$

$$+ 0,0016X_1X_2 - 0,00026X_1X_3 + 0,00133X_2X_3; R^2 = 0,960$$

### **Влияние солей на питание растений**

Солевой стресс, включая повышенную электропроводность почв и, как следствие, снижение потенциала водной фазы, прежде всего проявляется у растений как осмотический стресс, то есть уменьшение поглощения воды корневой системой, снижение тургора клеток и торможение роста (осмотический стресс). Подобно этому, вызывается ионный (токсический) эффект: натрий ( $\text{Na}^+$ ) или хлориды ( $\text{Cl}^-$ ) накапливаются в корнях и листьях, нарушая ионный баланс (например, высокий  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -отношение) и конкурируя с поглощением макро- и микроэлементов.

В этом контексте особенно важным становится обеспечение растения сбалансированным питанием, в котором макро- (N, P, K, Ca, Mg, S) и микроэлементы (Fe, Mn, Zn, Cu, Mo и др.) находятся в адекватных количествах и пропорциях. Такое питание способствует:

- поддержанию тургора и осмотического потенциала клеток (через обеспечение адекватной концентрации осмопротектантов, накопление  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  и др.);
- уменьшению проникновения ионов  $\text{Na}^+$  за счёт конкуренции с  $\text{K}^+$  и улучшения селективности ионных транспортёров;
- повышению устойчивости к окислительному стрессу и улучшению физиологических функций (фотосинтез, рост корневой системы).

Азот (N) играет ключевую роль в поддержании метаболизма, но при его избытке или дисбалансе с другими элементами может усиливаться стрессовое состояние растения.

Роль калия (K) особенно подчеркнута: он регулирует осмотический баланс, способствует закрытию устьиц, уменьшает потерю воды и помогает поддерживать высокий  $\text{K}^+/\text{Na}^+$ -отношение в клетках.

Кальций (Ca) укрепляет клеточные стенки и мембраны, снижает проникновение вредных ионов и способствует поддержанию водного обмена.

Таким образом, сбалансированное питание растений, выращиваемых на засоленных и малогумусных почвах, становится важным агрономическим инструментом для уменьшения осмотического стресса.

В практических агрономических условиях это предполагает:

- корректировку дозы удобрений с учётом исходного содержания элементов в почве, механического состава, водного режима и соле-стойкости культуры;
- регулярный мониторинг электропроводности почвенного раствора, содержания макро- и микроэлементов, и состояния растений.

В наших исследованиях на сероземных почвах Туркестанской области с  $\text{EC} < 4$  мС/см и гумусом  $< 1$  %, применение сбалансированной системы питания (например, N:K  $\approx 1:1,2-1,5$ , введение Ca и Mg, микроэлементов) можно рассматривать как меру для уменьшения осмотического стресса, улучшения водного поглощения и увеличения урожайности.

#### **Результаты производственного опыта: кукуруза на 20 га**

В ТОО «Ўлан-Отырар» (с. Шытты, Туркестанская обл.) на 20 гектарах была проведена дифференцированная система внесения удобрений с учетом:

- Содержания N, P, K в почве (0–30 см)
- Степени засоленности (0,3–0,5% до промывки; после — снижение на 25–40%)

Для оценки факторов, влияющих на урожайность зерна кукурузы, учитывались почвенные запасы азота (Nt), фосфора (Pt) и калия (Kt), включая внесенные удобрения, а также средний процент засоленности почвы (S) в пределах пахотного горизонта.

Экспериментальные данные были подвергнуты математической обработке с использованием программного приложения Excell, предусматривающей последовательную оценку и исключение незначимых членов регрессии, при уровне значимости  $P > 0,05$ .

Согласованность теоретических и фактических данных оценивалась с использованием коэффициента детерминации ( $R^2$ ).

Учет урожайности зерна кукурузы проведен 21–24 сентября на 20 делянках по координатам весеннего отбора почвенных проб. Средняя густота стояния составила 48 тыс. растений/га. Урожайность определяли поделяночным методом.

Внесение удобрений с учетом запасов азота, фосфора и засоленности обеспечило до 38% прибавки урожая, в среднем — 21%. Азот вносили в форме аммиачной селитры (N – 34,4%), фосфор — аммофоса (N – 10%, P – 45%) по 90 кг д. в./га каждого элемента, в два приема: перед посевом и в подкормку.

Контрольный вариант — 70 кг N/га. Регрессионный анализ урожайности показал, что значимое влияние оказывают два фактора: суммарные запасы азота (Nt) и засоленность почвы (S); остальные переменные оказались статистически незначимыми.

Тип полученной модели - квадратичная множественная регрессия, описывающая зависимость урожайности зерна кукурузы (Y, т/га) от запасов азота, включая азотные удобрения, (Nt) и содержания солей (S):

$$Y=11,20+0,0106 Nt -0,000177 Nt^2-7,849 S; R^2=0,866$$

где:

Nt – запасы азота, включая азотные удобрения, кг/га.

S – суммарное содержание солей, %.

На основе полученной регрессионной модели построена шкала прогнозирования урожайности зерна кукурузы.

Шкала прогнозирования урожайности зерна кукурузы, т/га

Nt (кг/га)	При засоленности, %							
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
450	4,78	4,00	3,21	2,43	1,64	0,86	0,07	-
400	7,70	6,92	6,13	5,35	4,56	3,78	2,99	2,21
350	9,74	8,96	8,17	7,39	6,60	5,82	5,03	4,25
300	10,89	10,11	9,32	8,54	7,75	6,97	6,18	5,40
250	11,16	10,38	9,59	8,81	8,02	7,24	6,45	5,67
200	10,54	9,76	8,97	8,19	7,40	6,62	5,83	5,05
150	9,04	8,26	7,47	6,69	5,90	5,12	4,33	3,55
100	6,65	5,87	5,08	4,30	3,51	2,73	1,94	1,16
50	3,38	2,60	1,81	1,03	0,24	-	-	-

#### Урожайность и экономика

Анализ экономических показателей показал, что затраты по вариантам варьировали незначительно – от 451,0 до 476,3 тыс. тенге на гектар, что свидетельствует о близких производственных условиях и одинаковом уровне технологических затрат. Основные различия между вариантами связаны с уровнем урожайности, что отразилось на величине валового дохода и прибыли. Максимальный валовой доход отмечен в варианте БП-11 (1594,9 тыс. тенге/га), что превышает контроль на 61%, тогда как минимальные значения наблюдались в вариантах БП-15 и БП-16. По уровню прибыли лидируют варианты БП-11 (1118,6 тыс. тенге/га), БП-13 (1068,9 тыс.), БП-07 (1042,8 тыс.) и БП-10 (980,9 тыс. тенге/га), обеспечившие наибольший экономический эффект.

Экономическая эффективность использования удобрений в зависимости от степени засоленности почвы и уровня обеспеченности ее питательными веществами

Участок отбора проб	Всего затрат, тыс, тенге/га	Валовой доход, тыс, тенге/га	Прибыль, тыс, тенге/га	Себестоимость тг/кг	Рентабельность, %	Эк, эффект, к контролю, тыс, тенге/га
БП-01	464,7	1300,0	835,3	50,0	179,8	230,4
БП-02	451,0	952,9	501,9	66,3	111,3	-103,0
БП-03	456,2	1083,8	627,6	58,9	137,6	22,7
БП-04	464,1	1284,6	820,5	50,6	176,8	215,6
БП-05	467,0	1360,1	893,1	48,1	191,2	288,2
БП-06	464,0	1282,1	818,1	50,7	176,3	213,2
БП-07	473,2	1515,9	1042,8	43,7	220,4	437,9
БП-08	465,1	1311,7	846,6	49,6	182,0	241,7
БП-09	470,5	1448,8	978,3	45,5	207,9	373,4
БП-10	470,6	1451,5	980,9	45,4	208,4	376,0
БП-11	476,3	1594,9	1118,6	41,8	234,9	513,7
БП-12	465,8	1327,9	862,1	49,1	185,1	257,2
БП-13	474,2	1543,1	1068,9	43,0	225,4	464,0
БП-14	457,8	1124,9	667,1	57,0	145,7	62,2
БП-15	453,3	1010,7	557,4	62,8	123,0	-47,5
БП-16	452,5	990,0	537,5	64,0	118,8	-67,4
БП-17	459,3	1163,9	704,6	55,2	153,4	99,7
БП-18	457,3	1112,8	655,5	57,5	143,3	50,6
БП-19	469,9	1432,7	962,8	45,9	204,9	357,9
БП-20	470,1	1438,2	968,1	45,8	205,9	363,2
БП-21 (контроль)	384,3	989,2	604,9	54,4	157,4	0,0

## Практические рекомендации для фермеров

### Общие принципы

- Не слепо следуйте старым нормам — диагностируйте почву!
- Проводите агрохимический анализ ежегодно, особенно после орошения.
- Измеряйте ЕС — это простой и дешевый способ оценки засоления.
- Избегайте хлорсодержащих удобрений (например, KCl) — хлор усиливает токсичность.
- Используйте серосодержащие формы (аммофос, сульфат аммония) — сера улучшает усвоение азота и снижает щелочность.

### 6.2. Для кукурузы на зерно

- Азот: 90 кг/га д.в. (60% — под основную обработку, 40% — в подкормку)
- Фосфор: 90 кг/га — в основное внесение
- Калий: не требуется, если  $K_2O > 400$  мг/кг
- Посев: 70–90 тыс. растений/га, глубина 6–8 см, междурядья 70 см
- Сроки: 3 декада апреля – 1 декада мая

### 6.3. Мелиоративные мероприятия

- Весенняя промывка: 1500–2000 м<sup>3</sup>/га
- Поверхностная обработка, не глубже 27 см — чтобы не поднимать соли из нижних горизонтов
- Малопоточное орошение — по бороздам, малыми дозами

### Будущее: цифровая агрохимия и точное земледелие

Создание почвенно-агрохимической информационной системы — ключевая задача. Она должна включать:

- Цифровые карты обеспеченности N, P, K, гумуса, засоления
- Онлайн-калькуляторы доз удобрений
- Мобильные приложения для фермеров
- Интеграцию с дронами и спутниковыми данными

Такой подход позволит:

- Снижать затраты на 15–30%
- Повышать урожайность на 20–40%
- Предотвращать деградацию почв
- Обеспечивать экологическую безопасность

### Заключение

Засоление — это не приговор для сельского хозяйства. Это вызов, который требует системного, научного и технологичного подхода. Мы показали, что даже на слабо- и средnezасоленных почвах можно получать высокие урожаи при условии:

- Точной диагностики состояния почвы;
- Индивидуального расчета доз удобрений;
- Сбалансированного питания, учитывающего стресс от солей;
- Комплексного применения агротехнических и мелиоративных мер.

Фермер, вооруженный знаниями и современными инструментами, становится не просто потребителем земли, а управляющим плодородием. И именно такой подход лежит в основе устойчивого сельского хозяйства будущего.

ТОО «Казахский НИИ почвоведения и агрохимии им. У.У. Успанова»  
Председатель Правления



  
Р.Х. Рамазанова

ТОО «Казахский НИИ почвоведения и агрохимии им. У.У. Успанова»  
заведующий отделом агрохимии  
к.с.-х.н., доцент

  
Б.М. Амиров