

ВЛИЯНИЕ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ В СКЛОНОВОМ АГРОЛАНДШАФТЕ НА КАЛИЙНЫЙ РЕЖИМ СУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ

**Л.В. Никитина, к.б.н., ВНИИА, В.А. Романенков, д.б.н., проф. РАН, МГУ
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии
имени Д.Н. Прянишникова», E-mail: kalinik@bk.ru
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,
E-mail: romanenkov@soil.msu.ru**

Приведена оценка изменения показателей калийного режима почвы в зависимости от элементов склона и систем удобрения. Показано, что большое значение в распределении калия имеет расположение участка на склоне. Значение рельефа, как фактора, связано с различной степенью его влияния на перераспределение калия, внесенного с удобрениями. Установлено, что интенсивность процесса постепенного освобождения калия из недоступных в сравнительно более доступные растениям формы сходна для всего обследуемого участка. Неравномерность пространственного распределения различных форм возрастала вниз по склону, а наиболее высокое его содержание отмечено в средней части склона при внесении органоминеральных и минеральных удобрений, что может быть связано с процессами горизонтальной миграции калия в исследуемом ландшафте.

Ключевые слова: дерново-подзолистая суглинистая почва, полигон агроэкологического мониторинга, элементы рельефа, системы удобрения, обменный калий, необменный легкогидролизуемый калий, необменно-поглощенный калий.

DOI: 10.25680/S19948603.2020.115.10

Возрастающие потребности в продукции растениеводства и животноводства в современных условиях требуют сохранения и повышения плодородия пахотных почв не только равнинных территорий, но и почв склонов, на долю которых в России приходится около половины пашни [1]. В связи с этим возникает необходимость дифференцированного подхода к разработке элементов агротехнологий с учётом особенностей агроландшафтов и пространственного варьирования климатических показателей и почвенного плодородия на микро- и мезоуровне [2]. Рельеф оказывает влияние на урожай сельскохозяйственных культур и его качество, что проявляется как непосредственно (собственно фактор «рельеф»), так и во взаимодействии с другими факторами (удобрения, химические средства защиты растений) [1, 3]. Формирование почв склонов связано не только с протеканием процессов латерального смыва в условиях выраженного рельефа, но и с активной миграцией подвижных элементов питания. Это приводит к разбалансированности процессов биологического круговорота и увеличивает пространственную неоднородность почвенного плодородия, усложняя использование единых агротехнологических приемов классических систем земледелия [2, 4].

Учитывая высокую подвижность калия в дерново-подзолистых почвах, можно ожидать его существенную миграцию на склоновых территориях не только вниз по профилю почв, но и с поверхностным и внутрипочвенным стоками. Ежегодные потери калия с жидким и твёрдым стоками могут составлять от 0,3 до 88 кг/га [1]. Возрастающая при этом пространственная неоднородность калийного режима почв поля влияет на обеспеченность калием возделываемых культур [5]. Поэтому исследование трансформации калия в почвах не может быть полным без учета влияния рельефа.

Цель исследований – изучить калийный режим дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы и его изменения под влиянием систем удобрения на разных элементах рельефа.

Методика. Исследования выполнены на полигоне агроэкологического мониторинга ЦОС ВИУА (п. Барыбино, Московская обл.). Полигон по своим природным условиям, рельефу и почвообразующим породам типичен для территории междуречья Пахры-Северки. Территория представляет собой водораздел 2-го порядка, приподнятый на 5-12 м над межводораздельной ложбиной, большую часть территории составляют пологие склоны 1-2°. Площадь полигона 20 га. На вершинах водораздела и большей части склонов распространены дерново-среднеподзолистые глубокоглееватые среднесуглинистые почвы [3, 6].

1. Система удобрения на агроэкологическом полигоне

| Чередование культур севооборота | Система удобрения | | | |
|---------------------------------|--------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| | Биологическая (контроль) | Органическая | Органоминеральная | Минеральная |
| Кукуруза на силос | - | Навоз, 75 т/га | Навоз, 37,5 т/га + N ₁₆₀ P ₄₅ K ₁₂₅ | N ₂₀₀ P ₉₀ K ₂₅₀ |
| Ячмень с подсевом мн. трав | - | - | N ₃₀ P ₂₅ K ₅₀ | N ₆₀ P ₃₀ K ₁₀₀ |
| Травы 1-го г.п. | - | - | - | - |
| Травы 2-го г.п. | - | - | - | - |
| Озимая пшеница | - | - | N ₆₀ P ₂₅ K ₅₀ | N ₁₁₅ P ₅₀ K ₁₀₀ |
| Внесено за ротацию | - | N ₁₂₀ P ₁₇₀ K ₄₀₅ | N ₃₁₀ P ₁₃₅ K ₄₂₅ | N ₃₇₅ P ₁₉₀ K ₄₅₀ |
| Среднегодовая доза | - | N ₂₄ P ₃₄ K ₈₁ | N ₆₂ P ₂₇ K ₈₅ | N ₇₅ P ₃₈ K ₉₀ |

На опытном поле калийный режим почв склона исследовали в конце первой ротации зернотравно-пропашного севооборота (кукуруза на силос; ячмень с подсевом многолетних трав; травы 1 – го г.п.; травы 2 – го г.п.; озимая пшеница) после уборки озимой пшеницы.

На пахотной территории полигона схема полевого опыта включала четыре системы удобрения:

- биологическая (с использованием естественного плодородия почв, без внесения удобрений) – контроль.
- органическая (основана на применении органических удобрений, агротехнических и биологических средств защиты растений),
- органоминеральная (интенсивное использование органических и минеральных удобрений, средств защиты растений)
- минеральная (использование только минеральных удобрений и химических средств защиты растений).

Распределение удобрений по культурам севооборота в агроэкологическом полигоне представлено в таблице 1. Вносили минеральные удобрения: аммиачную селитру, двойной гранулированный суперфосфат, хлористый калий и навоз КРС. Химический состав навоза: $N_{\text{общ.}}$ – 0,16%, P_2O_5 – 0,23, K_2O – 0,54%.

Каждую систему удобрения исследовали в отдельном элементарном водосборе, катена которого включала территорию от верхней (приводораздельной) до нижней части склона.

Для исследований отбирали индивидуальные почвенные образцы в трёх точках на каждой системе удобрения в верхней и средней частях склона на глубину пахотного (0-20 см) горизонта.

В почвенных образцах определяли содержание следующих форм почвенного калия: обменного, обменного легкогидролизуемого и обменного трудногидролизуемого. Для определения обменного калия по методу Масловой использовали 1М раствор уксусной кислоты (1М CH_3COONH_4) [7]. Легкогидролизуемый обменный калий определяли по методу Пчёлкина (2-суточное настаивание почвы с 2М HCl в термостате при постоянной температуре 24°C). Необменный трудногидролизуемый калий по методу Гедройца (10%-ная HCl при кипячении с почвой в течение 30 мин).

Концентрацию калия в вытяжках определяли методом эмиссионной пламенной фотометрии при помощи атомно-абсорбционного спектрофотометра AAS30 (Carl Zeiss).

Результаты и их обсуждение. Применение удобрений в севообороте способствовало росту продуктивности сельскохозяйственных культур и увеличению выноса калия как на приводораздельной, так и в средней частях склона (табл. 2). Наибольшая продуктивность севооборота по всем системам удобрения получена в средней части склона.

На приводораздельной и в средней частях склона на всех системах удобрения складывался отрицательный баланс калия. Интенсивность баланса, характеризующая функционирование агроэкосистемы, и определяемая как отношение количества калия, внесенного с удобрениями, к выносу его урожаем, на всех системах удобрения и разных элементах рельефа составила 53-58%.

2. Баланс калия и продуктивность севооборота за ротацию

| Показатели | Система удобрения | | | |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------|--------------|-------------------|-------------|
| | Контроль (биологическая) | органическая | органоминеральная | минеральная |
| <i>Приводораздельная часть склона</i> | | | | |
| Внесено K_2O с удобрениями, кг/га | - | 405 | 425 | 450 |
| Вынос K_2O культурами за ротацию, кг/га | 678 | 733 | 736 | 825 |
| Баланс K_2O за 6 лет, кг/га | -678 | -328 | -311 | -375 |
| Интенсивность баланса (И.Б.), % | - | 55 | 58 | 55 |
| Продуктивность севооборота в среднем за ротацию, ц з.е/га | 40,7 | 42,6 | 49,2 | 52,1 |
| <i>Средняя часть склона</i> | | | | |
| Внесено K_2O с удобрениями, кг/га | - | 405 | 425 | 450 |
| Вынос K_2O культурами за ротацию, кг/га | 703 | 744 | 795 | 794 |
| Баланс K_2O за 6 лет, кг/га | -703 | -339 | -370 | -344 |
| Интенсивность баланса (И.Б.), % | - | 54 | 53 | 56 |
| Продуктивность севооборота в среднем за ротацию, ц з.е/га | 42,4 | 44,4 | 49,6 | 56,3 |

3. Содержание различных форм калия в почве в зависимости от элементов рельефа и систем удобрения, мг/100 г почвы

| Элементы рельефа | Системы удобрения | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|------|------|---------|--------------|-----|------|---------|-------------------|------|------|---------|-------------|------|------|---------|
| | Контроль (биологическая) | | | | Органическая | | | | Органоминеральная | | | | Минеральная | | | |
| | Точки отбора | | | | | | | | | | | | | | | |
| В | 7 | 8 | 9 | среднее | 4 | 5 | 6 | среднее | 1 | 2 | 3 | среднее | 10 | 11 | 12 | среднее |
| С | 19 | 20 | 21 | | 16 | 17 | 18 | | 13 | 14 | 15 | | 22 | 23 | 24 | |
| Обменный калий | | | | | | | | | | | | | | | | |
| В | 10,8 | 15,0 | 10,4 | 12,1 | 10,0 | 8,4 | 10,8 | 9,7 | 8,4 | 8,0 | 12,6 | 9,6 | 13,8 | 15,2 | 8,4 | 12,4 |
| С | 6,6 | 9,0 | 12,0 | 9,2 | 10,8 | 8,4 | 10,0 | 9,7 | 40,3 | 17,1 | 11,2 | 22,8 | 17,1 | 13,1 | 13,8 | 14,6 |
| Легкогидролизуемый калий | | | | | | | | | | | | | | | | |
| В | 51 | 53 | 47 | 50 | 47 | 32 | 51 | 43 | 51 | 40 | 47 | 46 | 48 | 53 | 43 | 48 |
| С | 41 | 42 | 56 | 46 | 46 | 40 | 47 | 44 | 97 | 63 | 46 | 69 | 71 | 55 | 43 | 56 |
| Необменный калий | | | | | | | | | | | | | | | | |
| В | 181 | 204 | 180 | 188 | 189 | 135 | 187 | 170 | 146 | 154 | 158 | 152 | 184 | 193 | 151 | 176 |
| С | 130 | 154 | 199 | 161 | 157 | 154 | 154 | 155 | 252 | 157 | 192 | 200 | 232 | 178 | 180 | 197 |

Примечание. В – приводораздельная часть склона, С – средняя часть склона.

На содержание разных форм почвенного калия влияют многие факторы: гранулометрический и минералогический состав почвы, реакция среды, культура севооборота, гидротермические условия, удобрения и др. [8-11]. Согласно данным таблицы 3, на разных элементах рельефа и системах удобрения количество форм почвенного калия по точкам отбора проб различалось. Так, содержание обменного калия (основного, а часто единственного показателя обеспеченности растений данным элементом) на верхней (приводораздельной)

части склона варьировало слабо – в пределах 9,6-12,4 мг/100 г почвы и для различных систем удобрения изменялось в пределах низкой и средней степеней обеспеченности по грациям метода Масловой. Это связано, возможно, как с влиянием микрорельефа, сильно проявляющимся в данной части склона, так и с миграцией вносимых калийных удобрений и лабильных форм калия в составе илистой фракции с водными потоками на нижележащие участки склона.

В средней части склона наблюдалось заметное варьирование количества обменного калия и проявлялось действие фактора «система удобрения».

Наиболее высокая обеспеченность почв обменным калием наблюдалась на органоминеральной (22,8 мг/100 г почвы) и минеральной (14,6 г/100 г почвы) системах удобрения (повышенная и средняя соответственно), в то время как на органической и биологической она не выходила за пределы градации «низкая обеспеченность» (не превышала 10 мг/100 г почвы). Наблюдалось также существенное варьирование содержания обменного калия в пределах систем удобрения по точкам отбора почвенных проб, особенно на органоминеральной системе, где количество $K_2O_{обм.}$ изменялось от 11 до 40 мг/100 г почвы. Такая неравномерность распределения калия в пределах системы удобрения может быть связана как с миграцией калия в составе илстой фракции с поверхностными водами по склону, так и с микрорельефом территории.

Аналогичное распределение характерно и для легкогидролизующего калия. Если в верхней части склона содержание легкогидролизующего калия колебалось в пределах 32-53 мг/100 г почвы и влияние различных систем удобрения не проявилось, то в средней части склона пределы варьирования были заметно выше – 46-69 мг/100 г почвы. Более высокое содержание легкогидролизующего калия наблюдалось при внесении органоминеральных и минеральных удобрений, что также может быть связано с миграцией калия в составе илстой фракции с поверхностным и внутрисочвенным стоком с верхней в среднюю часть склона.

Количество обменного калия, определяемое по методу Гедройца, и характеризующее потенциальные запасы элемента, на привокзальной части склона изменялось от 135 мг/100 г почвы на органической системе удобрения до 204 мг/100 г на биологической. По сравнению с другими системами удобрения почва биологической системы удобрения наиболее обеспечена данной формой калия (180-204 мг $K_2O/100$ г почвы). Это связано, видимо, со слабым использованием калия при низких урожаях сельскохозяйственных культур в данном варианте. Среднегодовая продуктивность севооборота в этом варианте составляла 40,7 ц з.е/га (см. табл. 2).

В средней части склона более высокое содержание обменного калия отмечалось на органоминеральной и минеральной системах удобрения по сравнению с биологической (контроль) и органической системами. Его количество изменялось от 157 до 252 мг/100 г почвы на органической системе удобрения и от 178 до 232 мг – при внесении минеральных удобрений. Очевидно, неравномерность его распределения в пределах одной системы удобрения, как и в случае с обменным и легкогидролизующим калием, может быть связана либо с микрорельефом территории, либо с миграцией калия в составе илстой фракции с поверхностными водами вниз по склону.

Статистическая оценка анализируемых показателей калийного режима почв агроэкологического полигона представлена в таблице 4.

Анализ показателей распределения калия по точкам обследования позволяет заключить, что содержание обменного калия характеризуется наибольшим варьированием, и для него характерна наибольшая эксцесс-частота появления показателей, удаленных от средних

значений. Для обменного калия показатели варьирования и асимметрии меньше в 1,5-2 раза, а для необменного калия – в 3-4 раза.

4. Статистическая оценка распределения показателей калийного режима почв по всей выборке (n=24)

| Показатель | Содержание, мг/100 г | | |
|-----------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| | $K_2O_{обм.}$ (метод Масло-вой) | $K_2O_{легкогидр.}$ (метод Пчёлкина) | $K_2O_{необм.}$ (метод Гедройца) |
| Среднее* | 12,56 | 50,42 | 175,04 |
| Дисперсия** | 43,26 | 162,3 | 846,39 |
| Асимметрия*** | 3,47 | 2,31 | 0,86 |
| Эксцесс- частота*** | 14,54 | 7,43 | 0,95 |
| Коэффициент варьирования, % | 52 | 25 | 17 |
| Максимальное значение | 40,3 | 97,0 | 252 |
| Минимальное значение | 6,6 | 32,0 | 130,0 |

*мг $K_2O/100$ г почвы. ** (мг $K_2O/100$ г почвы)². ***Безразмерные коэффициенты.

Оценка коэффициентов детерминации регрессионного анализа показала, что между различными формами калия в почве наблюдалась тесная положительная связь (табл. 5).

5. Коэффициенты детерминации простой линейной регрессии между показателями калийного состояния почв

| Выборка | Корреляционная пара | | |
|----------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| | $K_2O_{обм.} - K_2O_{необм.}$ | $K_2O_{обм.} - K_2O_{легкогидр.}$ | $K_2O_{легкогидр.} - K_2O_{необм.}$ |
| Все данные | 57 | 84 | 63 |
| Верхняя часть склона | 57 | 40 | 54 |
| Середина склона | 62 | 87 | 69 |

Величины коэффициентов детерминации между парами $K_2O_{обм.} - K_2O_{необм.}$ и $K_2O_{легкогидр.} - K_2O_{необм.}$ близки, независимо от положения на склоне исследуемого участка. Это является косвенной характеристикой того, что интенсивность процесса постепенного освобождения калия почвы из недоступных форм в более доступные (обменный и легкогидролизующий), определяется набором геохимических и почвенных процессов, сходных для всего обследуемого участка.

Таким образом, представленные данные указывают на различное варьирование форм калия в пахотном слое дерново-подзолистой суглинистой почвы склонового агроландшафта. В верхней (привокзальной) части склона различия между вариантами с применением калийных удобрений, использованием последствий калия на органической системе удобрения и абсолютным контролем проявлялись слабо. Основная причина варьирования форм почвенного калия может быть обусловлена влиянием микрорельефа, сильно проявляющимся в данной части склона, а также перемещением вносимых калийных удобрений и лабильного калия с водными потоками в нижележащие участки склона (середина склона). В средней части действие систем удобрения с внесением хлористого калия проявляется достаточно контрастно и статистически достоверно. Возможно, эта контрастность создается также за счет смыва подвижных форм калия с верхних участков на системах с внесением калийных удобрений.

Выявление взаимосвязи между содержанием в почве различных форм калия на разных элементах агроландшафта показало, что наряду с известными факторами, обуславливающими распределение калия в почвах (таких как содержание калийсодержащих глинистых минералов, обогащённость почв илистыми фракциями, доля поглощённого калия от ЕКО и др.), большое значение имеет расположение участка на склоне, т.е. проявление фактора «рельеф».

Литература

1. Капитанов А.Н., Явтушенко В.Е. Агроэкология почв склонов. – М.: Колос, 1997. – 240 с. 2. Kuzyakova I.F., Romanenkov V.A., Kuzyakov Ya. V. Application of geostatistics in processing the results of soil and agrochemical studies // Eurasian Soil Science, – 2001. – Vol. 34. – No. 11. – pp. 1219–1228. 3. Лутвак Ш. И., Шевцова Л. К., Романенков В. А., Явтушенко В. Е., Варламов В. А. Агроэкологический полигон – новая форма агрохимического полевого эксперимента // Агрохимия. – 1997. – № 5. – С.89–95. 4. Сорокина Н.П. Принципы типизации почвенных комбинаций при изучении агрогенных изменений почвенного покрова // Почвоведение. – 2005. – № 12. – С.1477–1488. 5. Никитина Л.В. Калийный режим суглинистой почвы в зави-

симости от элементов агроландшафта и систем удобрения/ Агроэкологические проблемы почвоведения и земледелия. Сб. докладов Междун. науч.-практ. конф., Курск, 24–25 апреля, 2019. – С.249–255. 6. Романенков В.А., Никитина Л.В. Особенности состояния глинистых минералов и факторы, определяющие формы различных соединений калия в почвах междуречья Пахры-Северки. Эффективность средств химизации и продуктивность сельскохозяйственных культур. – М.: ВИАУ, 1993. – 39 с. 7. Методические указания по проведению исследований в длительных опытах с удобрениями. – М.: ВИАУ, 1975. Ч. 1 «Методика проведения опытов и анализ почв». – 167 с. 8. Соколова Т.А. Прокошев В.В., Носов В.В. Изменение минералогического состава тонкодисперсных фракций почв под влиянием внесения удобрений в связи с проблемами почвенного мониторинга // Бюллетень ВИАУ. – М.: ВНИИА, 2001. – №115. – С. 99–101. 9. Прокошев В.В., Дерюгин И.П. Калий и калийные удобрения. Практическое руководство. – М.: Ледум, 2000. – 185 с. 10. Якименко В.Н. Изменение содержания форм калия по профилю почвы при различном калийном балансе в агроценозах // Агрохимия. – 2007. – №3. – С. 5–11. 11. Никитина Л.В. Влияние длительного применения удобрений в зернопропашном севообороте на калийный режим дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы // Агрохимия. – 2012. – №12. – С. 15–23.

INFLUENCE OF FERTILIZER SYSTEMS IN SLOPE AGROLANDSCAPE ON POTASSIUM REGIME OF CLAY SOIL

L.V. Nikitina¹, V.A. Romanenkov²

¹Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Pryanishnikova ul. 31A, 127434 Moscow, Russia, e-mail: kalinik@bk.ru;

²Moscow State University named by M.V. Lomonosov, Leninskie gory 1, 119991 Moscow, Russia, e-mail: romanenkov@soil.msu.ru

The study of changes in the soil potassium parameters depending on the slope elements and fertilizer systems showed that the position of the site on the slope is of great importance for the distribution of potassium. The importance of relief as a factor is associated with varying degree of its effect on the redistribution of potassium applied with fertilizers. The intensity of the process of gradual release of potassium from slowly to readily available forms to plants is similar for the entire investigated area. The unevenness of the spatial distribution of various forms increased down the slope, and its highest content was observed in the middle part of the slope when organic-mineral and mineral fertilizers were applied, which may be associated with the processes of horizontal migration of potassium in the studied landscape.

Key words: sod-podzolic loamy soils, experimental site of agro-ecological monitoring, landscape elements, fertilizer system, exchange potassium, potassium hydrolyzable non-exchange, non-exchange-absorbed potassium

УДК 631.8.022.3

УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ЖИДКОГО УДОБРЕНИЯ ИЗАГРИ В АРИДНЫХ УСЛОВИЯХ ЮГА РОССИИ

А.В. Даваев, к.с.-х.н., Б.А. Гольдварг, к.с.-х.н., В.И. Козырчук, Калмыцкий научно-исследовательский институт сельского хозяйства им.М.Б. Нармаева – филиал «Прикаспийского аграрного федерального научного центра Российской академии наук»

358011, Республика Калмыкия, г.Элиста, площадь О.И. Городовикова, 1, davaev.a.v@mail.ru

Рассматриваются результаты испытания жидкого удобрения Изagri, его влияние на урожай и качество озимой пшеницы за 2017–2019 гг. в центральной зоне Республики Калмыкия. Показано, что использование данного удобрения способствовало усиленному росту и развитию растений озимой пшеницы, улучшению питательного режима, повышению уровня урожайности и качества зерна.

Ключевые слова: удобрения, Изagri, озимая пшеница, качество зерна, урожайность.

DOI: 10.25680/S19948603.2020.115.11

Республика Калмыкия с ее континентальным климатом и географическим положением относится к зоне рискованного земледелия. Сумма активных температур воздуха за вегетационный период полевых культур в центральной зоне республики 3400–3500⁰С, в западной – 3200–3400⁰С. На территории республики продолжительность периода с температурой воздуха выше +5⁰С

колеблется от 205 до 225 дней, выше +10⁰С – от 170 до 180, а на юге составляет до 185 дней [3].

Учитывая природно-климатические данные, территория Калмыкии является хорошей естественной лабораторией для испытания биопрепаратов, определения эффективности регуляторов роста в аридных условиях [3].