

УДК 631.83

# ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ КАРТОФЕЛЯ И КАЛИЙНОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВЫ

В.Н. Якименко, д.б.н., ИПА СО РАН

*Показано в стационарном полевом опыте, что длительность последдействия на урожайность картофеля калийных удобрений зависит от их доз, внесенных в предшествующие годы, и составляет от 2 до 5 лет. В период последдействия калийных удобрений масштабы снижения в почве содержания обменного и необменного калия значительно превышают его вынос растениями.*

**Ключевые слова:** калийные удобрения, последствие, урожай картофеля, формы калия в почве.

Длительность последдействия минеральных удобрений зависит как от внесенной дозы, так и, прежде всего, от их вида, что обусловлено спецификой трансформации в почве того или иного макроэлемента. В ряде исследований показано слабое использование культурами закрепленного в почве азота удобрений, тогда как последствие фосфорных удобрений, особенно при их активном балансе, может значимо проявляться в течение нескольких десятилетий [10].

Последствие калийных удобрений изучали в различных почвенно-климатических условиях. В длительных опытах [5] установлено продолжительное (свыше 20 лет) последствие калия, пропорциональное внесенной дозе удобрений. Исследования [7] показали, что калий переходит в разряд первого минимума через 8–10 лет после прекращения внесения удобрений, последствие же калия наблюдается в течение 2–4 лет [6]. По данным [4] доступность калия, внесенного с удобрениями и закрепившегося в почве, не уступает их прямому действию, тогда как в исследованиях [1] остаточный калий на черноземах использовался слабо – при его высоком содержании в почве внесение калийных удобрений существенно увеличивало урожай. В целом можно сказать, что имеющиеся литературные данные по последствию калия относительно немногочисленны и не всегда однозначны. Учитывая нарастающее истощение пахотных почв в отношении калия и важное значение этого элемента для выращиваемых культур [2, 6, 12], выявление путей оптимизации калийного режима в агроценозах представляется актуальным.

Цель наших исследований – дать оценку эффективности последдействия различных доз калийных удобрений на калийное состояние почвы и урожайность картофеля.

**Методика.** Исследования влияния баланса калия в агроценозе на калийное состояние почвы и урожайность культур проводят в стационарном полевом опыте, заложенном в 1988 г. на серой лесной среднесуглинистой почве. Опыт расположен на научном стационаре ИПА СО РАН в лесостепной зоне юга Западной Сибири. Закладку и проведение опыта осуществляли по общепринятой методике. Первые годы выращивали овощные культуры в севообороте, а с 2000 г. картофель в монокультуре [12]. Схема опыта приведена в таблице

1. Конкретные дозы удобрений под различные овощные культуры и их урожайность опубликованы нами ранее [11, 12]. Дозы вносимых минеральных удобрений под картофель в последние годы (по 2007 г. включительно) составляли (кг д.в/га): азота – 100, фосфора – 60, калия в вариантах 3–7, соответственно, 30; 60; 90; 120 и 150. Почвенный фонд калия, сформировавшийся к этому времени в различных вариантах опыта, показан в работе [13]. С 2008 г. начали изучать последствие калия – калийные удобрения в вариантах НРК вносить перестали. Почвенные образцы для анализа отбирали во время уборки урожая. Содержание форм калия в почве определяли: обменного – в вытяжке 1 М раствора  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ , необменного – в 1 М  $\text{HNO}_3$ .

**Результаты и их обсуждение.** Урожайность картофеля в опыте в целом (табл. 1) варьировала по годам в зависимости от погодных условий в период вегетации. Так, в 2008, 2010 г. и, особенно, в 2012 г. лето было засушливым, тогда как в 2009 и 2011 г. период вегетации картофеля характеризовался хорошей тепло- и влагообеспеченностью. Результаты длительного опыта также свидетельствуют, что одностороннее внесение НР-удобрений в почву с истощенным калийным фондом неэффективно, на продуктивности выращиваемого картофеля это практически не отражается.

Изучение последствия почвенного фонда калия, сформированного предшествующим внесением различных доз калийных удобрений, показало, что его длительность и эффективность закономерно зависят от интенсивности использования калийных удобрений.

1. Урожайность картофеля, ц/га, под влиянием последствия калийных удобрений

| Вариант опыта       | 2008 г. | 2009 г. | 2010 г. | 2011 г. | 2012 г. |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1. Без удобрений    | 52      | 78      | 62      | 81      | 84      |
| 2. НР               | 71      | 125     | 78      | 95      | 80      |
| 3. НРК <sub>1</sub> | 96      | 162     | 101     | 114     | 78      |
| 4. НРК <sub>2</sub> | 146     | 246     | 136     | 143     | 85      |
| 5. НРК <sub>3</sub> | 177     | 263     | 145     | 144     | 86      |
| 6. НРК <sub>4</sub> | 180     | 271     | 152     | 156     | 97      |
| 7. НРК <sub>5</sub> | 204     | 327     | 158     | 157     | 98      |
| НРК <sub>05</sub>   | 23      | 32      | 24      | 29      | 22      |

При многолетнем систематическом внесении в почву относительно невысоких доз калийных удобрений (30 кг д.в/га) их последствие на урожайность картофеля отмечалось в течение двух лет после прекращения внесения. Длительное использование в агроценозе средних доз калийных удобрений (60–90 кг д.в/га) обусловило существенный положительный эффект при их последствии в течение четырех последующих вегетационных сезонов. При регулярном внесении повышенных доз калия (120–150 кг д.в/га) положительное влияние

его последствия на продуктивность картофеля отмечалось и на пятый год. В этих вариантах опыта последствие калийных удобрений ощущалось бы, вероятно, ещё некоторое непродолжительное время (1-2 года), но только в благоприятный по тепло- и влагообеспеченности вегетационный период. В засушливый год этого последствия уже недостаточно для полноценного роста и развития картофеля. Известно, что подавляющая часть ионов калия поступает к корням растений за счет диффузии и массопотока, интенсивность которых тесно и прямо коррелирует с содержанием почвенной влаги. В засушливых условиях эти процессы сильно подавлены, поэтому лишь на почвах с высоким содержанием подвижных форм калия можно обеспечить приемлемый уровень питания культур этим элементом.

Оптимизации калийного состояния пахотных почв в отечественном земледелии уделяют недостаточное внимание. Такое положение с регулированием калийного режима в агроценозах во многом обусловлено несовершенством существующей системы оценки плодородия почв в отношении калия. На это неоднократно обращали внимание исследователи [3, 6, 8, 9, 12, 15]. Отмечали недостаточную информативность стандартных методов и градаций обеспеченности почв калием, целесообразность перехода к совокупности региональных шкал, необходимость комплексного использования нескольких диагностических показателей.

В настоящее время основным, а зачастую и единственным, показателем при оценке калийного состояния почв, и в научных исследованиях, и в практическом земледелии, является содержание обменного калия. В длительном опыте (с 1988 г.) в вариантах без внесения калийных удобрений (контроль и фон) содержание обменного калия в почве снизилось в течение первых 4–5 лет до стабильного уровня (с 12 до 8 мг/100 г почвы), на котором и оставалось всё последующее время, в том числе и в рассматриваемые годы исследования (2008–2012) (табл. 2). Минимальный уровень обменного калия в конкретной почве определяется ее емкостью катионного обмена (ЕКО); для зональных почв нашего региона он составляет 0,8–0,9% от ЕКО в суглинистых разновидностях и 1,0–1,2 – в супесчаных [12, 15]. Важно подчеркнуть, что часто при мониторинге калийного состояния пахотных почв подобная стабильность содержания обменного калия ошибочно оценивается со знаком плюс, как благополучная ситуация. Однако, в действительности стабилизация произошла на минимальном уровне, при котором калий для многих культур, в том числе картофеля, находится в первом минимуме.

## 2. Содержание форм калия в почве при последствии калийных удобрений, мг/100 г

| Вариант опыта    | 2008 г.            | 2009 г.            | 2010 г.            | 2011 г.            | 2012 г.            |
|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Без удобрений    | <u>8,5</u><br>95   | <u>8,2</u><br>93   | <u>8,1</u><br>93   | <u>8,1</u><br>90   | <u>7,8</u><br>92   |
| NP               | <u>8,0</u><br>95   | <u>7,9</u><br>90   | <u>7,9</u><br>92   | <u>8,1</u><br>90   | <u>7,8</u><br>92   |
| NPК <sub>1</sub> | <u>10,0</u><br>105 | <u>8,3</u><br>93   | <u>8,9</u><br>91   | <u>8,0</u><br>90   | <u>7,2</u><br>91   |
| NPК <sub>2</sub> | <u>12,4</u><br>116 | <u>9,0</u><br>108  | <u>9,2</u><br>100  | <u>8,3</u><br>99   | <u>7,2</u><br>92   |
| NPК <sub>3</sub> | <u>14,5</u><br>127 | <u>10,3</u><br>121 | <u>9,7</u><br>114  | <u>9,5</u><br>107  | <u>9,0</u><br>95   |
| NPК <sub>4</sub> | <u>26,3</u><br>139 | <u>16,1</u><br>132 | <u>15,3</u><br>130 | <u>11,7</u><br>125 | <u>10,0</u><br>120 |
| NPК <sub>5</sub> | <u>35,5</u>        | <u>22,8</u>        | <u>18,1</u>        | <u>14,2</u>        | <u>11,7</u>        |

|                   |                  |                  |                  |                  |                  |
|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                   | 167              | 157              | 142              | 133              | 125              |
| НСП <sub>05</sub> | <u>7,1</u><br>15 | <u>6,5</u><br>14 | <u>6,7</u><br>16 | <u>6,3</u><br>15 | <u>6,3</u><br>14 |

Примечание. Над чертой – обменный К, под чертой – необменный К.

После прекращения внесения калийных удобрений в вариантах опыта НРК-последствие содержание обменного калия в почве закономерно снижалось. Скорость и масштабы этого снижения зависели от исходного уровня обменного калия в почве конкретного варианта. В вариантах с длительным предшествующим внесением невысоких доз калия (30–60 кг/га) содержание его обменной формы в почве снизилось до минимального уровня или приблизилось к нему уже на второй год последствия, а в варианте НРК<sub>3</sub> это произошло на 4–5-й год последствия. При исходно высоком уровне калия в почве, сформировавшемся при предшествующем бездефицитном калийном балансе (вар. НРК<sub>4–5</sub>), масштабы снижения содержания его обменной формы в течение периода последствия были особенно заметны. Через 5 лет после прекращения внесения калийных удобрений уровень обменного калия в почве этих вариантов снизился в 2,5–3,5 раза; наиболее значительное падение произошло в первые 2 года последствия.

Очевидно, что естественный (целинный) уровень обменного калия в почве обусловлен и регулируется ее ЕКО. Калия, количество которого в условиях агроценоза существенно превышает этот уровень, обладает повышенной подвижностью и довольно быстро и легко расходуется на избыточное потребление растениями и возможные миграционные потери. Результаты исследований (см. табл. 2) показывают, что даже при создании (регулярным внесением удобрений) в почве агроценоза высокого уровня обменного калия (что в практическом земледелии встречается не часто), прекращение использования калийных удобрений ведет к его снижению и приближению к минимальному уровню в течение нескольких лет.

Содержание в почве необменного калия – важный показатель калийной диагностики, позволяющий оценить ближайшие ресурсы пополнения обменной формы этого элемента [3, 6, 12]. В нашем опыте в почве контрольного и фонового вариантов содержание необменного калия существенно снизилось по сравнению с целиной (120 мг/100 г) и стабилизировалось на определенном уровне (см. табл. 2), несмотря на продолжавшийся ежегодный вынос калия урожаем. Содержание необменной формы калия, как и обменной, по видимому, имеет свой минимальный почвенный уровень. Относительное постоянство в течение длительного времени содержания в почве агроценоза наиболее подвижных форм калия при сильном дефиците калийного баланса, очевидно, предполагает заметное участие в питании растений и в поддержании уровня обменного и необменного калия других его форм, не извлекаемых солевыми и разбавленными кислотными вытяжками.

Прекращение внесения калийных удобрений в вариантах НРК-последствие привело к заметному снижению содержания необменного калия в почве. В варианте НРК<sub>1</sub> оно достигло уровня контрольного и фонового вариантов (т.е. минимального для исследуемой почвы) на 2-й год последствия, а в вариантах НРК<sub>2–3</sub> – на 5-й год. Созданные при регулярном внесении в предшествующие годы относительно высоких доз калийных удобрений (120–150 кг/га) почвенные запасы необменного калия (варианты НРК<sub>4–5</sub>) снизились за 5 лет после-

действия до уровня целинной почвы. Падение содержания необменного калия в почве этих вариантов было наиболее значительным – за годы последствия калийных удобрений на 30-60 мг/100 г почвы. Скорость снижения почвенных запасов подвижных форм калия после прекращения использования калийных удобрений (при их последствии) особенно показательна, учитывая, что формирование этих запасов происходило постепенно в течение двух десятков лет.

В проведенных ранее исследованиях [14] установлено, что независимо от складывающегося в агроценозе калийного баланса, основные изменения содержания подвижных форм калия в почве происходят в пахотном слое (0–20 см). В этой связи, рассчитанный в кг/га баланс калия в вариантах опыта был выражен в мг/100 г почвы пахотного слоя (табл. 3) (плотность пахотного слоя почвы, определенная в середине вегетационного периода, 1,0 г/см<sup>3</sup>). В вариантах NPK-последствие рассчитанные величины дефицита баланса калия (мг/100 г) были значительно меньше, чем масштабы снижения содержания подвижных форм калия в почве этих вариантов. Следовательно, вынос калия урожаем в вариантах NPK – последствие не объясняет всех причин существенного падения уровня обменного и необменного калия в почве этих вариантов. По-видимому, основным фактором снижения является интенсивное протекание почвенных трансформационных процессов.

**3. Баланс калия в опытах при последствии калийных удобрений за 2008-2012 гг.**

| Калий                              | Без удобрений | NP   | NPK <sub>1</sub> | NPK <sub>2</sub> | NPK <sub>3</sub> | NPK <sub>4</sub> | NPK <sub>5</sub> |
|------------------------------------|---------------|------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Поступление, кг/га                 | -             | -    | -                | -                | -                | -                | -                |
| Вынос, кг/га                       | 132           | 135  | 176              | 263              | 318              | 360              | 477              |
| Баланс, кг/га                      | -132          | -135 | -176             | -263             | -318             | -360             | -477             |
| Баланс, мг/100 г почвы (пах. слой) | -6,6          | -6,8 | -8,8             | -13,2            | -15,9            | -18,0            | -23,9            |

**Заключение.** Результаты опыта показали, что достоверное положительное влияние на урожай картофеля последствия калийных удобрений, длительно вносимых в широком диапазоне доз (от 30 до 150 кг/га), продолжается не более 4-5 лет. Изменение калийного состояния почвы при последствии калийных удобрений свидетельствует об интенсивности и обратимости процессов трансформации форм калия в почве. При длительном дефицитном балансе и стабильно низком содержании в почве подвижных форм калия, питание растений, хотя и весьма лимитированное, обеспечивается

за счет потенциальных запасов калия, катионов, содержание которых не определяется рутинными агрохимическими методами. Высокое содержание подвижных форм калия в почве агроценоза, после прекращения использования калийных удобрений, довольно быстро (за 4–5 лет) снижается (до уровня, свойственного целинному аналогу и ниже) за счет как выноса отчуждаемой растительной биомассой, так и (возможно, главным образом) прочной фиксации на почвенных позициях с высокой селективностью к этому элементу.

#### Литература

1. Жукова Л.М. Накопление и превращение калия в почвах разного типа при систематическом применении удобрений: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – М., 1966. 28 с.
2. Минеев В.Г. Агрохимия и экологические функции калия. – М.: Изд-во МГУ, 1999. – 332 с.
3. Никитина Л.В., Соколова Т.А., Якименко В.Н. и др. Методические подходы при разработке параметров калийного режима пахотных почв. Бюллетень Геосети. Вып. 12 / Под ред. акад. В.Г. Сычева. – М.: ВНИИА, 2011. – 40 с.
4. Никитишен В.И., Дмитрикова Л.К., Личко В.И. Роль почвы и удобрения в обеспечении калийного питания культур севооборота // Агрохимия. – 2000. – № 12. – С. 30-35.
5. Ониани О.Г. Агрохимия калия. – М.: Наука, 1981. – 200 с.
6. Прокошев В.В., Дерюгин И.П. Калий и калийные удобрения. – М.: Ледум, 2000. – 185 с.
7. Прокошев В.В. О необходимости применения калийных удобрений // Плодородие. – 2002. – № 1. – С. 18-20.
8. Прокошев В.В., Дерюгин И. П., Ефремов Е.Н. О методах определения доступных форм калия в почве // Плодородие. – 2005. – № 5. – С. 15-18.
9. Сычев В.Г. Возможности совершенствования градаций содержания «доступного» калия // Агрохимический вестник. – 2000. – № 5. – С. 30-34.
10. Сычев В.Г., Шафран С.А. Влияние агрохимических свойств почв на эффективность минеральных удобрений. – М.: Изд-во ВНИИА, 2012. – 200 с.
11. Якименко В.Н. Калийный фонд почвы в агроценозах Западной Сибири // Плодородие. – 2002. – № 2. – С. 26-28.
12. Якименко В.Н. Калий в агроценозах Западной Сибири. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. – 231 с.
13. Якименко В.Н. Эффективность уровня калийного питания картофеля // Плодородие. – 2005. – № 5. – С. 11-13.
14. Якименко В.Н. Изменение содержания форм калия по профилю почвы при различном калийном балансе в агроценозах // Агрохимия. – 2007. – № 3. – С. 5-11.
15. Якименко В.Н. К вопросу оценки калийного состояния почв агроценозов // Плодородие. – 2009. – № 4. – С. 8-10.

### PROLONGED AFTEREFFECT OF POTASSIUM FERTILIZERS ON POTATO YIELD AND POTASSIUM STATUS OF SOIL

V.N. Yakimenko

*Institute of Soil Science and Agrochemistry,  
pr. Lavrentyeva, 8/2, Novosibirsk, 630090 Russia  
E-mail: yakimenko@issa.nsc.ru*

*In stationary field experiments, it has been shown that the aftereffect duration of potash fertilizers depends on their application rates in the preceding years and ranges from 2 to 5 years. During the aftereffect of potash, the reduction of exchangeable and non-exchangeable potassium significantly exceeds its removal by plants.*

*Keywords: potash fertilizers, aftereffect, potato yield, soil potassium forms.*