

УДК 631.454

DOI: 10.19047/0136-1694-2020-101-124-158



**Ссылки для цитирования:**

Балгабаев А.М., Елешев Р.Е., Умбетов А.К., Иванов А.Л., Рогова О.Б., Колобова Н.А. Запасы и групповой состав фосфатов почв предгорной зоны Илийского Алатау и их изменение при длительном использовании // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Вып. 101. С. 124-158. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-101-124-158

**Cite this article as:**

Balgabaev A.M., Eleshev R.E., Umbetov A.K., Ivanov A.L., Rogova O.B., Kolobova N.A., Stocks and fraction composition of phosphorus in the Ili Alatau foothill soils and their change under long-term use, Dokuchaev Soil Bulletin, 2020, V. 101, pp. 124-158, DOI: 10.19047/0136-1694-2020-101-124-158

## **Запасы и групповой состав фосфатов почв предгорной зоны Илийского Алатау и их изменение при длительном использовании**

© 2020 г. А. М. Балгабаев<sup>1</sup>, Р. Е. Елешев<sup>1\*</sup>, А. К. Умбетов<sup>1</sup>,  
А. Л. Иванов<sup>2\*\*</sup>, О. Б. Рогова<sup>2\*\*\*</sup>, Н. А. Колобова<sup>2\*\*\*</sup>

<sup>1</sup>Казахский национальный аграрный университет, Казахстан,  
050010, г. Алматы, проспект Абая, 8,  
<sup>\*</sup><https://orcid.org/0000-0002-2178-3388>,

<sup>2</sup>Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Россия,  
119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,

<sup>\*\*</sup><https://orcid.org/0000-0003-2908-0828>, e-mail: [olga\\_rogova@inbox.ru](mailto:olga_rogova@inbox.ru),  
<sup>\*\*\*</sup>e-mail: [nataly\\_starok@mail.ru](mailto:nataly_starok@mail.ru).

Поступила в редакцию 13.11.2019, после доработки 06.02.2020,  
принята к публикации 04.03.2020

**Резюме:** В почвах Илийского Алатау (темно-каштановая, светло-каштановая, горный чернозем) при применении удобрений на бессменных посевах сахарной свеклы и в севообороте существенно изменяются их агрохимические показатели, а также запасы и групповой состав фосфора (валовое содержание, органические и минеральные формы фосфора). Валовое содержание фосфора в почвах составляло 1720–2330 мг/кг и уменьшалось в ряду: целинные горные черноземы > пахотные темно-каштановые > пахотные горные черноземы > светло-

каштановые > целинные темно-каштановые. Обнаружено, что в темно-каштановых пахотных почвах, по сравнению с целинными, повышалось содержание легкодоступных форм фосфора (рыхлосвязанных фосфатов Са-PI и разноосновных фосфатов кальция Са-PII) и снижалось – труднодоступных (высокоосновных фосфатов Са-PIII, фосфатов алюминия Al-P и железа Fe-P). В пахотных горных черноземах, по сравнению с целинными, снижалось содержание всех фракций фосфора. Светло-каштановые пахотные почвы содержат наименьшее количество легкодоступных фосфатов и наибольшее – фосфатов алюминия и железа. При возделывании свеклы на светло-каштановых почвах содержание всех фракций фосфора, кроме фосфатов железа, повышалось с увеличением дозы удобрения. Эффективность внесения органо-минеральных удобрений сравнима с внесением NK + P<sub>1.5</sub> и NK + P<sub>2</sub>, урожайность корнеплодов сахарной свеклы в севообороте в этих вариантах опыта наибольшая и составляет 614 и 577 ц/га; в контрольном варианте (без удобрений) – 197 ц/га, а на фоне NK – 277 ц/га. При бессменном посеве эти величины были соответственно 577 и 561 ц/га; 311 и 327 ц/га. Близкие значения урожайности были получены в двух вариантах: при использовании органо-минеральной системы удобрения и при внесении полуторных норм минерального фосфора на фоне азотно-калийных удобрений, что объясняется дополнительным использованием растениями сахарной свеклы фосфора вновь образованных органических соединений.

**Ключевые слова:** фосфатный фонд, фракционирование фосфорных соединений, органический и минеральный фосфор, сахарная свекла, продуктивность, севооборот, бессменный посев.

## **Stocks and fraction composition of phosphorus in the Ili Alatau foothill soils and their change under long-term use**

**A. M. Balgabaev<sup>1</sup>, R. E. Eleshev<sup>1\*</sup>, A. K. Umbetov<sup>1</sup>, A. L. Ivanov<sup>2</sup>,  
O. B. Rogova<sup>2\*\*</sup>, N. A. Kolobova<sup>2\*\*\*</sup>**

<sup>1</sup>*Kazakh National Agrarian University,  
8 Abay Avenue, Almaty 050010, Republic of Kazakhstan,*

*\*<https://orcid.org/0000-0002-2178-3388>,*

<sup>2</sup>*V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,  
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 2119017, Russian Federation,*

*\*\*<https://orcid.org/0000-0003-2908-0828>, e-mail: [olga\\_rogova@inbox.ru](mailto:olga_rogova@inbox.ru),*

*\*\*\*e-mail: [nataly\\_starok@mail.ru](mailto:nataly_starok@mail.ru).*

*Received* 13.11.2019, *Revised* 06.02.2020, *Accepted* 04.03.2020

**Abstract:** In soils of Ili Alatau (dark kastanozems, light kastanozems, mountain chernozems) both in continuous cropping system of sugar beet and in crop rotation with prolonged use of fertilizers the soil agrochemical indices, phosphorus reserves and group composition (total, organic and mineral) vary significantly. The total phosphorus content in the soils was 1720–2330 mg/kg and decreased in the series: virgin mountain chernozems > arable dark kastanozems > arable mountain chernozems > light kashtanozems > virgin dark kastanozems. It was observed, that in arable dark kastanozems, as compared to virgin soils, the content of available forms of phosphorus (loose-bound phosphates Ca-PI and miscellaneous calcium phosphates Ca-PII) increased, and the content of plant unavailable forms of phosphorus (poorly soluble Ca phosphates Ca-PIII, phosphates of aluminum Al-P and iron Fe-P) decreased. In arable mountain chernozems, in comparison with virgin mountain chernozems, the content of all fractions of phosphorus decreased. Arable light kastanozems contain the least amount of available phosphates and the highest of phosphates of aluminum and iron. When cultivating beets on light kastanozems, the content of all fractions of phosphorus, except iron phosphates, increased with increasing dose of fertilizers. The effectiveness of the application of the organic-mineral fertilizers was comparable to the introduction of NK + P<sub>1.5</sub> and NK + P<sub>2</sub>, the yield of sugar beet in the crop rotation in these variants is the highest and amounts to 614 and 577 centner/ha; in the control value (obtained without fertilizers) – 197 centner/ha, and in the variant with application of only NK fertilizers – 277 centner/ha. In continuous cropping system these values were 576 and 561 centner/ha; 311 and 327 centner/ha respectively. Close values of crop yield were obtained in two variants: with the organo-mineral system and NK + P<sub>1.5</sub>, due to the additional use by the plants of sugar beet phosphorus of newly formed organic compounds.

**Keywords:** phosphorus stock, fractionation of phosphorus compounds, organic and mineral phosphorus, sugar beet, productivity, crop rotation, continuous cropping.

## ВВЕДЕНИЕ

По данным РГУ “Агрохимслужба” МСХ РК за 2010–2016 гг. более 56% пахотных земель Казахстана очень бедны фосфором, а 18–20% мало обеспечены ([Отчет о деятельности РГУ..., 2016](#)).

В настоящее время требуемое количество фосфорных удобрений под те или иные культуры преимущественно рассчитывается на основе определения содержания подвижных фосфатов в

почве. Однако простой анализ зависимости урожайности культур от содержания фосфора в почве не всегда отражает реальную картину.

Отсутствие современных экспериментальных данных по изучению состава фосфора органических соединений и их трансформации при длительном применении удобрений еще в большей степени усугубляет проблему. При этом вопрос изучения фосфора органических соединений в питании растений применительно к почвенным разностям Казахстана является абсолютно новым. Решение данного вопроса позволит по-новому пересмотреть существующие схемы удобрений. Определение структуры фосфатного фонда в условиях севооборота в сравнении с таковым в бесменном посеве сахарной свеклы позволит корректировать обеспеченность почв подвижным фосфором.

В условиях интенсификации сельского хозяйства существенно возрастают проблемы управления почвенным плодородием и разработки приемов его расширенного воспроизводства. Как считают многие исследователи, фосфатный уровень почв является показателем их плодородия и его повышение свидетельствует об окультуренности почв ([Синягин, 1968](#); [Хейфец, 1948](#); [Бурангулова, 1957](#); [Гриндель, Зырин, 1965](#); [Козыбаева, 1974](#); [Вильдфлуш, 1975](#); [Иванов, Елешев, 1990](#); [1991](#); [Иванов, 1991](#); [Гринец 2009](#), [Гринец и др., 2019](#)).

Изучение трансформации элементов питания, в частности фосфора, в зависимости от типов почв в различных климатических условиях, агротехнических приемов, применения удобрений является весьма актуальным.

Известно, что фосфорорганические соединения составляют значительную часть валового фосфора почвы. По данным И.И. Синягина на их долю в пахотном слое приходится около 30–85% общего содержания фосфора в почве ([Синягин, 1968](#)).

В 70-х годах прошлого столетия существовали различные мнения относительно форм органических фосфатов в почве. Одни исследователи считали, что фосфор находится в форме неспецифических органических соединений индивидуальной природы: фитин, фосфатиды, нуклеиновые кислоты и др. ([Хейфец, 1948](#); [Бурангулова, 1957](#)), – другие отмечали его наличие в составе спе-

цифических гумусовых веществ ([Гриндель, Зырин, 1965](#); [Вильдфлуш, 1975](#)).

Применение минеральных и органических удобрений в разных типах почв приводило в одних случаях к повышению содержания органических фосфатов ([Минеев и др., 1993](#); [Фокин, Синха, 1969](#)), а в других оно оставалось неизменным или даже снижалось ([Меренова, 1955](#)).

Несмотря на высокое содержание фосфора, связанного с органическим веществом (30–50% от валового содержания), он слабо поглощается растениями ([Душечкин, 1929](#)). В то же время другие исследователи ([Дмитриенко, 1957](#)) считают, что органическое вещество, разлагающееся под влиянием микроорганизмов и химических процессов, является одним из постоянных источников питания растений, в том числе и фосфорного.

Отдельные ученые ([Дурасов, 1960](#); [Ратнер, Самойлова, 1955](#); [Кривоносова, Супруненко, 1971](#); [Пономарева, 1970](#); [1971](#)) отмечают увеличение количества органических фосфатов при внесении удобрений, тогда как в других исследованиях ([Левенец, Кривоносова, 1974](#); [Касицкий, 1979](#)) минеральные удобрения и даже органические не повышали, а иногда снижали их содержание. Так, наибольшее количество фосфора приходится на долю неспецифических соединений: в черноземе мощном – около 50%, а в черноземе оподзоленном – около 30% от суммы органических фосфатов. В том и другом случае отмечалось некоторое увеличение количества фосфора фульвокислот, особенно в мощном черноземе, при одновременном уменьшении количества фосфора гуминовых кислот. Внесение минеральных удобрений в различной степени изменяло содержание  $P_2O_5$  во фракциях фосфорсодержащих органических соединений, а именно способствовало уменьшению количества фосфора неспецифических соединений.

Решение проблемы регулирования фосфатного режима связано с определением уровня, до которого целесообразно повышать содержание растворимых фосфатов в зависимости от типа почв, содержания природного фосфора, особенностей поглощения и закрепления его в почве, состава возделываемых культур и других показателей ([Касицкий, 1979](#); [Носко, 1983, 1985](#); [Чумаченко, 1969](#); [Рахимгалиева, 2010](#); [Чиркова, Козыбаева, 1978, 1980](#); [Могханм,](#)

[2011](#); [Умбетов, 2016](#); [Османьян, 2009](#)).

Как отмечает И.Н. Чумаченко ([1969](#)), большую роль в питании растений благодаря своей мобильности при определенных условиях играют неспецифические органические фосфаты почвы. Им установлено, что применение фосфорных удобрений практически не повлияло на увеличение содержания органических фосфатов на изучаемых орошаемых сероземах Средней Азии (светлый, типичный, темный, староорошаемый). Это подтверждает и Сущеница Б.А. ([1978](#)), говоря о том, что особое место в этих почвах занимают органофосфаты, являющиеся близким резервом фосфорного питания в неудобренной почве, их содержание превышает сумму подвижных минеральных фосфатов почти в два раза. Трехлетняя люцерна, хорошо удобренная фосфором, способствовала семикратному увеличению фосфатов органического происхождения.

Количество органических соединений индивидуальной природы (нуклеиновые кислоты, фитин, фосфатиды) в почвах не превышает 10–15% общего запаса гумуса ([Кононова, 1963](#); [Бацула, Кривоносова, 1973](#)). Их источниками являются растительные остатки и продукты обмена и синтеза микроорганизмов.

Макаров М.И. и др. ([1997](#)), изучая распределение  $P_{\text{орг}}$  по гранулометрическим фракциям дерново-подзолистых, серых лесных и черноземных почв, пришли к заключению, что свыше 70%  $P_{\text{орг}}$  гумусовых горизонтов приходилось на долю илистых и мелкопылеватых фракций. В тонкодисперсных фракциях было аккумулировано органическое вещество, относительно обогащенное фосфором, что обуславливало уменьшение в них величины отношения  $C : P$ .

В исследованиях Хейфец Д.М и др. ([Хейфец, 1948](#); [Макаров, 1997](#); [2005](#)) показано, что количество фосфора, связанного с органическим веществом в изученных почвах различно и составляет от 9 до 50% от валового содержания для разных почв.

Результаты этих исследований ([Макаров и др., 1999](#); [Макаров, 2005](#); [Макаров, Мальшева, 2006](#); [Макаров, Леошкина, 2009](#)) подтверждают, что количественная неопределенность понятия “фосфор фульвокислот” следует из высокой зависимости концентрации  $P$  в фульвокислотах от методики выделения этой группы

соединений.

Органические и минеральные фосфаты неразрывно связаны и постоянно находятся в процессе взаимопревращения, при этом органофосфаты являются резервом непосредственно доступных для растений форм фосфора ([Иванов и др., 2012](#)).

В целом обилие публикаций по трансформации органических фосфатов говорит о достаточной изученности этого вопроса в странах СНГ и дальнего зарубежья. В различных почвенно-климатических условиях Казахстана подобных исследований проводилось мало, поэтому для предгорной зоны Илийского Алатау вопрос участия органического фосфора в питании растений является на сегодня весьма актуальным.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования – почвы предгорной пустынно-степной зоны (пояс предгорных светло-каштановых почв до высоты 750–850 м) и почвы зоны предгорной степи (от 700–800 до 1200–1400 м): пояса предгорных темно-каштановых почв до высоты 850–1000 м, предгорных черноземов до высоты 750–850 м.

Территория стационара Казахского НИИ земледелия и растениеводства, где проводился полевой опыт с сахарной свеклой, расположена у подножья горных хребтов Илийского Алатау на высоте 700–800 м над уровнем моря. Почвенный покров опытного участка представлен предгорными светло-каштановыми почвами. Почвообразующими породами являются лёссовидные суглинки, глубоко подстилаемые галечниковыми отложениями. Грунтовые воды залегают на глубине 10 м и более.

Светло-каштановые почвы опытного участка имеют хорошо развитый профиль: гумусовый горизонт (Ап + А<sub>1</sub>) оструктурен, слабо уплотнен, поэтому вполне благоприятен для возделывания многих сельскохозяйственных культур. Содержание гумуса – 2.27–2.35%, валовых форм азота – 0.171–0.182%, фосфора – 0.200–0.210% и калия – 1.62–1.75%. Содержание подвижных форм питательных элементов в пахотном горизонте составило соответственно 23.1–24.8, 20.2–27 и калия – 424–455 мг/кг почвы.

Решение поставленных задач осуществлялось посредством закладки ключевых участков на различных типах почв (чернозе-

мы, темно-каштановые и светло-каштановые) вертикальной зональности Илийского Алатау, а также на участке многолетнего полевого опыта восьмипольного свекловичного севооборота и бесменного посева сахарной свеклы.

Реализация поставленных задач осуществлялась в многолетнем (с 1961 г.) стационарном опыте в севообороте и на бесменном посеве сахарной свеклы.

Всего за 56 лет под бесменные посевы сахарной свеклы на светло-каштановой почве внесено:

Одинарная доза фосфора –  $N_{5600}P_{3360}K_{3360}$ ;

Полуторная доза –  $N_{5600}P_{5040}K_{3360}$ ;

Двойная доза –  $N_{5600}P_{6720}K_{3360}$ .

Схема опыта:

1. Без удобрений (контроль)
2. НК-фон
3. НК +  $P_1$  (одинарная доза)
4. НК +  $P_{1.5}$  (полуторная доза)
5. НК +  $P_2$  (двойная доза)
6. NPK + 60 т навоза

Повторность опыта 4-кратная, площадь делянки – 216 м<sup>2</sup>. В качестве азотных удобрений использовали мочевины (46% д.в.), фосфорных – двойной суперфосфат (47% д.в.), калийных – хлористый калий (60% д.в.). Ежегодная одинарная доза  $P_2O_5$  – 90 кг/га, полуторная – 135 кг/га и двойная доза – 180 кг/га.

Агрохимические свойства изучаемых почв (гумус, содержание NPK, pH и др.) определяли общепринятыми классическими методами; общее содержание органических фосфатов – методом Мета в модификации Гинзбурга; состав минерального фосфора – по Гинзбург-Лебедевой; подвижные фосфаты – по методу Мачигина.

Химические анализы почв выполнены в лабораториях кафедр “Почвоведения и агрохимии” Казахского национального аграрного университета, Казахского НИИ Почвоведения и агрохимии им. У.У. Успанова, Казахского НИИ земледелия и растениеводства и Почвенного института им. В.В. Докучаева (г. Москва).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты определения общих агрохимических свойств почв представлены в таблице 1.

### **Запасы и групповой состав фосфатов почв предгорной зоны Илийского Алатау (черноземы и каштановые почвы) и их изменение при длительном использовании**

Исследования показали, что в верхней части гумусового профиля основных типов почв количество валового фосфора колеблется от 1880 до 2330 мг/кг почвы (табл. 2).

Светло-каштановая почва содержит 1880, пахотные темно-каштановые – 2130, целинные темно-каштановые – 1720, пахотные горные черноземы – 2050, целинные горные черноземы – 2330 мг/кг фосфора. Таким образом, максимальный запас фосфора отмечается в целинных горных черноземных почвах.

В профиле всех типов почв отчетливо выражено уменьшение содержания фосфора с глубиной, что объясняется биологической аккумуляцией данного элемента в верхней части профиля и закреплением некоторой доли фосфатов, поступающих в пахотный слой с удобрениями.

Содержание общего фосфора в верхних горизонтах исследуемых почв также зависело от типа почв. Так, светло-каштановая почва содержит 1096, пахотные темно-каштановые – 1126, целинные темно-каштановые – 1005, пахотные горно-черноземные почвы – 1052, целинные черноземные почвы – 1007 мг/кг почвы.

**Таблица 1.** Агрохимическая характеристика обследованных целинных и пахотных почв Илийского Алатау (2018 г.)

**Table 1.** Agrochemical characteristics of surveyed virgin and arable soils of Ili Alatau (2018)

Почва	Глубина горизонта, см	Гумус, %	Азот, %	Фосфор, %	Калий, %	рН	СО <sub>2</sub> , %	Подвижные формы, мг/кг		
								N <sub>л.г.</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Темно-каштановая почва, пашня	0–30	2.33	0.140	0.224	2.75	8.27	-	30.8	53.0	360
	30–47	1.62	0.126	0.224	3.00	8.14	-	30.8	18.0	220
	47–80	1.08	0.070	0.212	2.87	8.52	1.50	28.0	5.0	180
	80–100	0.98	0.064	0.198	2.65	8.61	2.10	26.3	4.8	170
	100–128	0.82	0.052	0.176	2.48	8.70	2.82	20.4	4.5	149
Темно-каштановая почва, целина	0–10	3.11	0.224	0.178	3.06	8.42	1.17	33.6	14.0	710
	10–38	2.33	0.226	0.148	3.00	8.48	0.33	33.6	10.0	610
	38–54	1.25	0.126	0.176	2.75	8.68	3.51	30.8	10.0	460
	54–98	0.71	0.084	0.148	2.19	8.88	-	28.0	5.0	110
	98–117	0.68	0.075	0.130	2.03	8.89	-	25.0	4.8	105

Почва	Глубина горизонта, см	Гумус, %	Азот, %	Фосфор, %	Калий, %	рН	СО <sub>2</sub> , %	Подвижные формы, мг/кг		
								N <sub>л.г.</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Чернозем горный, пашня	0–25	3.34	0.196	0.196	2.69	8.51	4.18	33.6	20.0	250
	25–55	1.18	0.098	0.168	2.19	8.72	11.14	39.2	5.0	90
	55–95	0.88	0.084	0.148	2.25	8.84	9.43	36.4	3.0	90
	95–130	0.72	0.072	0.135	2.17	8.86	9.61	33.6	3.2	84
Чернозем горный, целина	0–10	5.07	0.518	0.212	2.75	6.62	-	53.2	41.0	850
	10–38	2.23	0.434	0.200	2.75	6.80	-	50.4	27.0	590
	38–58	3.75	0.196	0.148	2.88	7.21	-	47.6	10.0	300
	58–90	2.30	0.126	0.160	2.00	8.72	11.51	39.2	5.0	90
	90–117	2.15	0.115	0.151	1.96	8.76	12.40	36.7	5.3	84
Светло-каштановая почва, пашня	0–33	1.65	0.0098	0.200	2.50	8.61	1.95	28.0	12.0	290
	33–51	1.32	0.084	0.204	2.56	8.68	3.25	25.2	10.0	230
	51–68	1.45	0.126	0.200	2.50	8.60	3.57	28.0	6.0	190
	68–96	1.31	0.118	0.196	2.41	8.62	3.64	24.0	5.5	185
	96–132	1.22	0.109	0.180	2.30	8.64	3.80	20.0	5.2	175

Максимальное содержание общего фосфора (1126 мг/кг) обнаружено в пахотном слое темно-каштановых почв (табл. 2).

Количество минерального фосфора зависит от типа почв и изучаемого горизонта и колеблется от 715.5 до 1145 мг/кг. Максимальное содержание минерального фосфора в верхнем горизонте обнаружено в пахотной светло-каштановой почве – 1093 мг/кг, а минимальное содержание – 983 мг/кг – в пахотной темно-каштановой почве.

**Таблица 2.** Формы и содержание фосфора целинных и пахотных почвах Илийского Алатау (2018 г.)

**Table 2.** Forms and content of phosphorus in virgin and arable soils of Ili Alatau (2018)

Тип почвы	Глубина горизонта, см	Фосфор в мг/кг почвы		
		Валовый	Общий	Минеральный
Темно-каштановая почва, пашня	0–30	2130	1126	983
	30–47	2120	1062	933
	47–80	2080	1029	982
Темно-каштановая почва, целина	0–10	1720	1005	998
	10–38	1490	792	771
	38–54	1540	915	913
Чернозем горный, пашня	0–25	2050	1052	1050
	25–55	1400	907	906
Чернозем горный, целина	0–10	2330	1007	1004
	10–38	2180	763	760
	38–58	1910	716	715,5
Светло-каштановая почва, пашня	0–33	1880	1096	1093
	33–51	1730	1147	1145
	51–68	1880	965	964

Следует отметить, что содержание валового фосфора значительно превышает содержание “общего” в связи с тем, что первый определяли методом рентгенофлуоресцентного анализа, позволяющим определить все формы соединений элемента, независимо от

их устойчивости к тем или иным химическим агентам, в том числе фосфор, находящийся в составе алюмосиликатов или устойчивых органических соединений, последний же определялся после извлечения его серной кислотой при нагревании, что не гарантирует полноту экстракции.

Исследования группового состава фосфатов показали, что содержание рыхлосвязанных фосфатов ( $\text{Ca-P}_I$ ) в пахотном слое (0–30 см) изучаемых почв колеблется от 26.5 до 36.0 мг  $\text{P}_2\text{O}_5$  на 1 кг почвы. По профилю почв содержание фосфатов этой фракции постепенно снижается (табл. 3).

Несмотря на полученную незначительную (порядка 10–15%) разницу между суммой фракций минеральных фосфатов в таблице 3 и содержанием фосфора минеральных соединений в таблице 2, обусловленную суммированием аналитических погрешностей при фракционном анализе, тенденция одинакова. Фракции разноосновных фосфатов кальция ( $\text{Ca-P}_{II}$ ) в почвах содержится значительно больше, чем фракции  $\text{Ca-P}_I$ . Наиболее высокое содержание фракции  $\text{Ca-P}_{II}$  наблюдается в пахотном слое темно-каштановой почвы (320 мг/кг), в черноземных почвах содержится 270–280 мг/кг, а в светло-каштановой почве – 262 мг/кг разноосновных фосфатов. Уменьшение по профилю почв содержания фракции разноосновных фосфатов ( $\text{Ca-P}_{II}$ ) более постепенное, в сравнении с фракциями рыхлосвязанных фосфатов. Различие почв по содержанию фракций разноосновных фосфатов кальция ( $\text{Ca-P}_{II}$ ) остается стабильным по всей глубине (табл. 3).

Высокоосновные фосфаты кальция занимают значительное место в фоне “активных” минеральных фосфатов, но доступность их крайне ограничена, так как они представлены в основном первичными минералами типа апатита. В черноземных почвах в верхнем горизонте содержание высокоосновных фосфатов ( $\text{Ca-P}_{III}$ ) составляет 715–855 мг/кг, темно-каштановых – 747–758, светло-каштановых – 742 мг/кг и с глубиной постепенно уменьшается. Максимальное содержание этой группы фосфатов (855 мг/кг) отмечено на целинных черноземных почвах.

**Таблица 3.** Состав и содержание фракций минеральных фосфатов целинных и пахотных почв Илийского Алатау (2018 г.)

**Table 3.** Composition and fractions of mineral phosphates in virgin and arable soils of Ili-Alatau (2018)

Почва	Глубина горизонта, см	Фракции минеральных фосфатов, мг/кг						
		Подвижный фосфор, мг/кг	Ca-P <sub>I</sub>	Ca-P <sub>II</sub>	Al-P	Fe-P	Ca-P <sub>III</sub>	Сумма
Темно-каштановая почва, пашня	0–30	53.0	34.5	345	34.5	36.7	747	1197.7
	30–47	18.0	28.5	272	36.5	44.7	680	1061.7
	47–80	5.0	25.0	287	21.5	36.3	667	1036.8
	80–100	4.8	22.5	255	30.0	40.5	683	1031.0
	100–128	4.5	16.0	247	40.0	44.7	690	1037.7
Темно-каштановая почва, целина	0–10	14.0	30.0	310	36.5	38.7	758	1173.2
	10–38	10.0	26.0	247	36.3	40.3	701	1050.6
	38–54	10.0	23.8	240	32.0	42.0	703	1040.8
	54–98	5.0	22.5	227	41.2	43.3	697	1031.0
	98–117	4.8	18.7	220	34.7	41.0	680	994.4

Почва	Глубина горизонта, см	Фракции минеральных фосфатов, мг/кг						Сумма
		Подвижный фосфор, мг/кг	Ca-P <sub>I</sub>	Ca-P <sub>II</sub>	Al-P	Fe-P	Ca-P <sub>III</sub>	
Чернозем горный, пашня	0–25	20.0	28.0	280	38.3	43.3	715	1104.6
	25–55	5.0	25.0	260	40.0	48.0	687	1060.0
	55–95	3.0	23.0	240	34.8	42.2	670	1010.0
	95–130	3.2	20.0	183	28.5	46.7	645	923.2
Чернозем горный, целина	0–10	41.0	36.0	287	44.3	38.7	855	1261.0
	10–38	27.0	31.5	267	40.7	44.7	738	1121.9
	38–58	10.0	26.3	233	38.0	43.3	713	1053.6
	58–90	5.0	24.7	218	36.7	47.8	689	1016.2
	90–117	5.3	22.8	213	37.0	48.5	667	988.3
Светло-каштановая почва, пашня	0–33	12.0	26.5	262	48	90	742	1168.5
	33–51	10.0	22.0	251	47	95	731	1146.0
	51–68	6.0	18.3	243	49	97	713	1120.3
	68–96	5.5	16.0	224	45	94	695	1074.0
	96–132	5.2	15.2	189	42	93	691	1030.2

По мере увеличения карбонатности почв количество (относительное) высокоосновных фосфатов кальция типа аппатита (Са-Р<sub>III</sub>) возрастает. Содержание фракции фосфатов алюминия и железа в зависимости от типа почв составляет: черноземная почва – 80–85 мг/кг, темно-каштановая почва – 70–75 мг/кг, светло-каштановая почва – 130 мг/кг почвы (табл. 3).

Сумма минеральных фосфатов также зависит от типа исследуемых почв. Так, на целинных черноземных почвах сумма минеральных фосфатов в верхнем горизонте составляет – 1261.0 мг/кг, пахотных черноземах – 1104.6 мг/кг, на целинных темно-каштановых почвах – 1173.2 мг/кг, пахотных темно-каштановых – 1197.7 мг/кг, пахотных светло-каштановых – 1168.5 мг/кг.

Черноземные почвы отличаются от каштановых высоким содержанием малоподвижных и низким содержанием наиболее подвижных фракций минеральных фосфатов.

### **Процессы трансформации фосфора органических и минеральных соединений при длительном применении удобрений на посевах сахарной свеклы**

На сегодняшний день стало возможным выделение четырех групп процессов, влияющих на трансформацию фосфатов в почве: геохимические, биологические, химические и антропогенные. Каждая из выделенных групп имеет свою специфику и приводит к достаточно своеобразным формопроявлениям соединений фосфора в почве.

Длительное применение удобрений в севооборотах вызывает значительные изменения физико-химических свойств почвы, ее биологической активности и питательного режима. Особое место в вопросах длительного применения удобрений занимает фосфор, что связано как с большим значением этого элемента для жизни растений, так и со спецификой его поведения в почве. Обладая высокой реакционной способностью, фосфор активно участвует в различных почвенных процессах, что обуславливает возникновение разнообразных фосфорных соединений как минеральных, так и органических. Сравнительно низкий процент усвоения фосфора из удобрений, особенно в вариантах с высокими дозами фосфорных удобрений, способствует его значительному накоплению в

почве.

Внесенный в почву фосфор трансформируется, в результате чего его подвижность с течением времени изменяется, поэтому сравнение многолетней динамики различных форм фосфатов при длительном и систематическом применении удобрений, в частности фосфорных, представляет научный интерес ([Пономарева, 1980](#); [1989](#); [Иванов, Елешев, 1990](#); [1991](#); [Иванов, 1991](#)).

В других исследованиях ([Басибеков, Торшина, 1975](#), [1978](#), [1981](#); [Елешев, 1980](#); [Иванов, Елешев, 1990](#); [1991](#); [Иванов, 1991](#)) длительное применение удобрений на слабовыщелоченном черноземе способствовало значительному накоплению в почве сравнительно легкорастворимых фосфатов щелочных и щелочноземельных металлов, увеличивало содержание фракции фосфатов железа и алюминия, значительно изменяло содержание фракции высокоосновных фосфатов кальция.

Накопление и использование остаточных фосфатов в большей мере отражается на содержании минеральных фосфатов по сравнению с органическими. Фосфор удобрений переходит в состав всех групп минеральных фосфатов, из которых в первую очередь используются фосфаты фракций Al-P и Ca-P, а железосфаты – в меньшей степени. Систематическое внесение фосфорных удобрений приводит к значительному увеличению подвижности почвенных фосфатов. Основными формами наиболее подвижных соединений являются фосфаты, извлекаемые 0.5 н.  $\text{NH}_4\text{F}$ , 0.1 н.  $\text{NaOH}$  и 0.5 н.  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Увеличение норм фосфорных удобрений способствует возрастанию массы наиболее подвижных соединений фосфора только до нормы  $\text{P}_{90}$  и  $\text{P}_{120}$ . При применении  $\text{P}_{150}$  и  $\text{P}_{180}$  возрастания подвижных фракций фосфора не происходило ([Елешев, Есполов, 1982](#)).

Значительную часть валовых запасов фосфора почвы составляют фосфорорганические соединения. Они играют важную роль в почвенных биохимических процессах и обеспечении растений доступным фосфором в процессе минерализации. Исследования Елешева Р.Е. ([Елешев, 1984](#); [Елешев, Иванов, 1986](#)) показали, что почвы предгорной зоны Илийского Алатау содержат 0.15–0.16% фосфора. В верхней части гумусового профиля основных типов почв количество валового фосфора колеблется от 130 до 200

мг/100 г почвы. Так, сероземы содержат 130–150 мг/100 г почвы, каштановые – 187–200 мг/100 г почвы, а запасы валового фосфора в метровом слое составляют 16–18 и 17–23 т/га соответственно.

Результаты наших исследований на светло-каштановой почве показали, что содержание подвижного фосфора в почве под сахарной свеклой зависит от нормы внесенного фосфора и биологической особенности культуры, которая потребляет много фосфора при формировании урожая.

В 2018 г. при возделывании в севообороте сахарной свеклы внесение полного минерального удобрения, где одинарная доза фосфора составила 90 кг/га, обеспечило повышение подвижного фосфора в почве в фазу 5–6 листьев в слое 0–20 см до 49.0 мг/кг, тогда как в контрольном варианте и в варианте НК (фон) содержание подвижного фосфора не превышало 20.7 и 23.7 мг/кг почвы. При внесении полуторной ( $P_{1.5}$ ) и двойной дозы фосфорного удобрения, содержание подвижного фосфора в 0–20 см слое почвы увеличилось до 51.9 и 59.0 мг/кг почвы соответственно. Там, где применялось полное минеральное удобрение и 60 т навоза (вариант 6), содержание подвижного фосфора в верхнем горизонте (0–20 см) составило 58.3 мг/кг. С глубиной (20–40) содержание подвижного фосфора существенно уменьшается (табл. 4).

При бессменном возделывании сахарной свеклы внесение минеральных удобрений также увеличивает содержание подвижного фосфора в почве. Внесение полного минерального удобрения, где одинарная доза составила 90 кг/га, обеспечило повышение подвижного фосфора в фазу 5–6 листьев в слое 0–20 см до 55.9 мг/кг почвы, в то время как в контрольном варианте и в варианте НК (фон) содержание подвижного фосфора составило 44.0 и 46.2 мг/кг почвы соответственно. При применении полуторной дозы ( $P_{1.5}$ ) фосфорных удобрений содержание подвижного фосфора увеличилось до 56.4 мг/кг почвы. Совместное внесение полной дозы NPK и 60 т навоза увеличивало содержание подвижного фосфора в пахотном слое до 58.6 мг/кг почвы. В подпахотном слое (20–40 см) содержание подвижного фосфора в контрольном варианте и в варианте НК снижалось до 39.0 и 41.7 мг/кг соответственно, а в удобренных вариантах составило 47.1–50.6 мг/кг почвы (табл. 5).

Содержание подвижного фосфора осенью (уборка корнеплодов) заметно уменьшается, это связано с его потреблением и выносом растениями сахарной свеклы в процессе формирования биологического урожая культуры.

Изучение фракционного состава светло-каштановой почвы по методу Гинзбург-Лебедевой показало, что длительное и систематическое внесение фосфорных удобрений в севообороте и бессменных посевах сахарной свеклы привело к увеличению содержания суммы “активных фосфатов”. Количество рыхлосвязанных ( $\text{Ca-P}_I$ ) и разноосновных ( $\text{Ca-P}_{II}$ ) фосфатов кальция возросло не только в абсолютном, но и в относительном выражении к валовому фосфору.

В севообороте на посевах сахарной свеклы в фазе 5–6 листьев в 0–20 см слое одинарная норма фосфора ( $\text{P}_{90}$ ) увеличивала содержание рыхлосвязанных ( $\text{Ca-P}_I$ ) и разноосновных ( $\text{Ca-P}_{II}$ ) фосфатов до 89 и 265 мг/кг соответственно, или 6.7 и 19.9% от суммы фракций фосфатов. Полуторная норма ( $\text{P}_{135}$ ) увеличивала содержание рыхлосвязанных ( $\text{Ca-P}_I$ ) и разноосновных ( $\text{Ca-P}_{II}$ ) фосфатов до 104 и 296 мг/кг соответственно, или 7.4 и 21.1% от суммы фракций (табл. 4).

На бессменных посевах сахарной свеклы в верхнем (0–20 см) слое почвы в фазе 5–6 листьев содержание рыхлосвязанных ( $\text{Ca-P}_I$ ) и разноосновных ( $\text{Ca-P}_{II}$ ) фосфатов в варианте с одинарной нормой ( $\text{P}_{90}$ ) фосфорных удобрений составило 94.0 и 279.0 мг/кг соответственно, или 6.8 и 20.3% от содержания фракций. В варианте с полуторной нормой ( $\text{P}_{135}$ ) содержание фракций  $\text{Ca-P}_I$  и  $\text{Ca-P}_{II}$  составило 106.0 и 297.0 мг/кг соответственно, или 7.5 и 20.9%, а в варианте, где применялась полная норма NPK и 60 т навоза – 102.0 и 285 мг/кг или 7.3 и 20.4% соответственно (табл. 5). Эти же показатели в слое почвы 0–20 см в контрольном и фоновом вариантах (НК) не превышали в севообороте 25–34 и 223–333 мг/кг, а на бессменных посевах сахарной свеклы – 32–40 и 238–245 мг/кг почвы (табл. 5).

**Таблица 4.** Состав и содержание минеральных фосфатов в зависимости от длительного применения удобрений на посевах сахарной свеклы в севообороте (фаза 5–6 листьев, 2018 г.)

**Table 4.** Composition and mineral phosphates content depending on the long-term fertilizers application for sugar beet cultivation in crop rotation (the phase of 5–6 leaves, 2018)

Почва	Глубина горизонта, см	Подвижный фосфор, мг/кг	Фракции минеральных фосфатов, мг/кг					Сумма
			Ca-P <sub>I</sub>	Ca-P <sub>II</sub>	Al-P	Fe-P	Ca-P <sub>III</sub>	
Контроль (б/у)	0–20	20.7	25.0	223	45	90	785	1168
	20–40	15.9	22.0	217	43	98	776	1156
НК-фон	0–20	23.7	34.0	233	48	96	795	1206
	20–40	22.6	30.0	226	45	100	802	1203
НК + P <sub>1</sub> (одинарная доза)	0–20	49.0	89.0	265	56	100	821	1331
	20–40	36.2	78.0	257	62	97	825	1319
НК + P <sub>1.5</sub> (полупорная доза)	0–20	51.9	97.0	289	58	98	835	1377
	20–40	38.3	91.0	275	61	101	841	1369
НК + P <sub>2</sub> (двойная доза)	0–20	59.0	104.0	296	60	96	846	1402
	20–40	39.1	95.0	287	63	99	853	1397
NPK + 60 т навоза	0–20	58.3	98.0	274	59	97	830	1358
	20–40	45.2	91.0	260	61	98	836	1346

**Таблица 5.** Состав и содержание минеральных фосфатов в зависимости от длительного применения удобрений на посевах бессменной сахарной свеклы (фаза 5–6 листьев, 2018 г.)

**Table 5.** Composition and mineral phosphates content depending on the long-term fertilizers application for sugar beet continuous cropping (the phase of 5–6 leaves, 2018)

Почва	Глубина горизонта, см	Подвижный фосфор, мг/кг	Фракции минеральных фосфатов, мг/кг					Сумма
			Ca-P <sub>I</sub>	Ca-P <sub>II</sub>	Al-P	Fe-P	Ca-P <sub>III</sub>	
Контроль (б/у)	0–20	44.0	32.0	238	48	92	788	1198
	20–40	39.0	28.0	233	46	97	783	1187
НК-фон	0–20	46.2	40.0	245	50	98	808	1241
	20–40	41.7	35.0	238	49	102	818	1247
НК + P <sub>1</sub> (одинарная доза)	0–20	55.9	94.0	279	58	98	846	1375
	20–40	47.1	82.0	272	62	94	853	1363
НК + P <sub>1,5</sub> (полупорная доза)	0–20	56.4	106.0	297	62	100	857	1422
	20–40	50.6	95.0	206	60	105	864	1410
NPK + 60 т навоза	0–20	58.6	102	285	61	99	852	1399
	20–40	41.7	95	272	62	102	859	1390

Если первые две фракции минеральных фосфатов ( $\text{Ca-P}_I + \text{Ca-P}_{II}$ ) играют важную роль в питании растений, и их динамика в течение вегетации сахарной свеклы может изменяться от весны до осени, то содержание и динамика высокоосновных ( $\text{Ca-P}_{III}$ ) минеральных фосфатов остается в начале вегетации неизменной. Осенью (при определении к уборке свеклы) содержание высокоосновных ( $\text{Ca-P}_{III}$ ) минеральных фосфатов может увеличиваться, что связано, по-видимому, с переходом легкорастворимых форм фосфора в труднорастворимые двух- и трехкальциевые соли, которые осаждаются в почве. Их количества всегда выше, чем первых двух фракций.

В светло-каштановой почве в севообороте на посевах сахарной свеклы в фазе 5–6 листьев количество высокоосновных фосфатов в верхнем (0–20 см) слое почвы увеличилось на удобренных вариантах от одинарных, полутонных и двойных норм фосфора до 821–835–846 мг/кг почвы соответственно. Эти показатели в контрольном и фоновом вариантах (НК) составили 785 и 795 мг/кг (табл. 4). В бессменных посевах эти показатели следующие: одинарная доза удобрений – 846 мг/кг, полуторная доза – 857 мг/кг почвы. В контрольном и фоновом (НК) вариантах – 788 и 808 мг/кг или 65.8 и 65.1% (табл. 5).

Таким образом, длительное и систематическое применение минеральных удобрений, в частности фосфорных, повышает содержание в почве валового фосфора. Определение фракционного состава минеральных фосфатов в севообороте и бессменных посевах сахарной свеклы показало, что содержание наиболее растворимых фракций фосфатов кальция ( $\text{Ca-P}_I + \text{Ca-P}_{II}$ ) и высокоосновных фракций фосфатов ( $\text{Ca-P}_{III}$ ) увеличились от длительного и систематического применения одинарной, полуторной и двойной норм фосфорных удобрений. К моменту уборки урожая сахарной свеклы снижается содержание первых двух фракций, а содержание высокоосновных фракций кальция увеличивается, что объясняется тем, что первые фракции рыхлосвязанных и разноосновных форм фосфатов были использованы для создания биологического урожая и сухой биомассы. Увеличение же содержания высокоосновных форм минеральных фосфатов произошло за счет перехода легкорастворимых форм фосфора в труднодоступную форму.

### **Рост, развитие и продуктивность сахарной свеклы в зависимости от состава и форм фосфора органических соединений почвы**

Уровень урожайности сельскохозяйственных культур является главным критерием оценки эффективности применения удобрений. Исследования, проведенные в течение длительного времени разными исследователями показывают, что продуктивность сельскохозяйственных культур, в частности сахарной свеклы, определяется параметрами почвенного плодородия, видами севооборота и условиями их минерального питания.

Результаты исследований показывают, что продуктивность сахарной свеклы как в севообороте, так и в бессменных посевах зависела от уровня фосфатного фонда почв.

**Таблица 6.** Влияние фосфатного фонда почвы на урожайность сахарной свеклы в севообороте (2018 г.)

**Table 6.** Influence of soil phosphate stock on sugar beet yield in crop rotation (2018)

<b>Варианты опыта</b>	<b>Средняя урожайность, ц/га</b>	<b>Прибавка, ц/га</b>
Контроль (б/у)	196.7	-
NK-фон	276.7	80.0
NK + P <sub>1</sub> (одинарная доза)	533.3	336.6
NK + P <sub>1.5</sub> (полупорционная доза)	576.7	380.0
NK + P <sub>2</sub> (двойная доза)	562.3	365.6
NPK + 60 т навоза	613.7	417.0
HCP <sub>0.5</sub> , ц/га	35.3	
P, %	4.6	

При выращивании сахарной свеклы в севообороте урожайность в контрольном варианте составила 196.7 ц/га, в фоновом варианте только с азотно-калийными удобрениями – 276.7 ц/га. От внесения одинарной дозы фосфорных удобрений P<sub>90</sub> на фоне азотно-калийных урожайность корнеплодов сахарной свеклы возросла до 533.3 ц/га и обеспечила прибавку урожайности 336.6 ц/га. В варианте с полупорционной дозой фосфорного удобрения в сочетании с

азотно-калийными удобрениями получена наибольшая (среди вариантов с минеральными удобрениями) урожайность корнеплодов сахарной свеклы – 576.7 ц/га, и прибавка составила 380.0 ц/га. При увеличении дозы фосфорного удобрения (двойная доза) урожайность составила 562.3 ц/га, а прибавка – 365.6 ц/га. Максимальная урожайность корней сахарной свеклы (613.7 ц/га), прибавка (417.0 ц/га) получена в варианте, где применялось полное минеральное удобрение с органическим – NPK + 60 т навоза (табл. 6).

Аналогичная закономерность по урожайности корнеплодов сахарной свеклы наблюдается при бесменном ее возделывании (табл. 7). Так, в контрольном варианте урожайность корнеплодов составила 310.7 ц/га, в фоновом варианте урожайность увеличивалась до 326.7 ц/га, и прибавка составила 16.0 ц/га. Улучшение условий фосфорного питания способствовало резкому увеличению урожайности корнеплодов до 503.3 и 575.7 ц/га, прибавки колебались в пределах 192.6–265.0 ц/га.

**Таблица 7.** Влияние фосфатного фонда почв на урожайность сахарной свеклы при бесменном ее возделывании (2018 г.)

**Table 7.** Influence of phosphate stock in soil on sugar beet yield when continuous cropping is used (2018)

Варианты опыта	Средняя урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га
Контроль (б/у)	310.7	-
НК-фон	326.7	16.0
НК + P <sub>1</sub> (одинарная доза)	503.3	192.6
НК + P <sub>1.5</sub> (полупорционная доза)	561.3	250.6
NPK + 60 т навоза	575.7	265.0
НСП <sub>0.5</sub> , ц/га	24.7	
P, %	3.8	

Максимальные урожаи 561.3–575.7 ц/га корнеплодов сахарной свеклы обеспечило внесение полупорционной дозы фосфорных удобрений на фоне НК и NPK + 60 т навоза, прибавка составила 250.6 и 265.0 ц/га (табл. 7).

Таким образом, максимальные урожаи корнеплодов сахарной свеклы порядка 560–570 ц/га как в севообороте, так и на бессеменных посевах обеспечиваются при внесении полуторной дозы фосфорных удобрений на фоне НК (561.3–576.7 ц/га) и при применении органо-минеральной системы удобрения (575.7–613.7 ц/га). Совместное внесение полного минерального удобрения с навозом лишь незначительно превышает урожайность варианта НК + P<sub>1.5</sub>, это свидетельствует о том, что минеральные удобрения эффективнее повышают урожайность сахарной свеклы, а при органо-минеральной системе удобрения питание растений фосфором частично обеспечивается органическими соединениями навоза.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В различных типах почв предгорной зоны Илийского Алатау антропогенное воздействие в течение длительного времени привело к заметному снижению основного показателя плодородия – содержания гумуса: в горном черноземе – с 5.07% на целине до 3.34% в пашне; в темно-каштановой почве – с 3.11% на целине до 2.33% в пашне; в светло-каштановой почве – до 1.65% в пашне.
2. Наибольшее количество валового фосфора (2330 мг/кг) содержится в горном черноземе на целинном участке, и данный показатель снижается в условиях пашни (2050 мг/кг). В то время как в темно-каштановых почвах количество валового фосфора, наоборот, выше на пашне, используемой под овощные культуры (2130 мг/кг), чем в условиях целины (1720 мг/кг). Наименьшее количество валового фосфора в светло-каштановой почве на пашне (1880 мг/кг).
3. Большую часть общего количества потенциально доступного фосфора в исследуемых почвах составляет фосфор минеральных соединений (771–1145 мг/кг). Содержание минеральных форм фосфора в верхнем горизонте целинного горного чернозема составило 1004 мг/кг, на пашне – 1050 мг/кг, в целинной темно-каштановой почве – 998 мг/кг, на пашне – 983 мг/кг и на пашне в светло-каштановой почве – 1145 мг/кг соответственно. Содержание валового и органического фосфора с глубиной постепенно уменьшается.
4. Продуктивность сахарной свеклы в зависимости от приме-

нения фосфорных удобрений показало, что в условиях длительного применения удобрений (57 лет) наиболее эффективным является комплексное органо-минеральное питание. Наибольшая урожайность сахарной свеклы получена в варианте с внесением полного минерального удобрения совместно с навозом (NPK + 60 т навоза) и в варианте с внесением полуторной нормы фосфора на фоне применения азотно-калийных удобрений (NK + P<sub>1,5</sub>), обеспечивающими в севообороте урожаем корнеплодов 613.7 и 576,7 ц/га соответственно, при их величине в контрольном варианте (без удобрений) – 196.7 ц/га, а в фоновом (NK) – 276.7 ц/га. При беспрерывном возделывании эти величины были соответственно 575.7 и 561.3 ц/га, 310.7 ц/га, 326.7 ц/га.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Басибеков Б.С., Торшина О.Б. Влияние длительного применения фосфорных удобрений на фосфатный режим светло-каштановой почвы и продуктивность культур свекловичного севооборота // *Агрохимия*. 1975. № 7. С. 22–27.
2. Басибеков Б.С., Торшина О.Б. Баланс фосфора в свекловичном севообороте на светло-каштановой почве Юго-Востока Казахстана // *Агрохимия*. 1978. № 8. С. 17–25.
3. Басибеков Б.С., Торшина О.Б. Баланс калия в свекловичном севообороте на светло-каштановой почве Юго-востока Казахстана // *Агрохимия*. 1981. № 10. С. 42–49.
4. Бацула А.А., Кривоносова Г.М. Фосфор в гуминовых кислотах фульвокислотах некоторых почв Украины // *Агрохимия*. 1973. № 6. С. 24–26.
5. Бурангулова М.Н. Фосфатный режим почв Башкирии: Автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. Воронеж, 1957. 38 с.
6. Вильдфлуш И.Р. Фракционный состав органических фосфатов длительно удобряемых дерново-подзолистых почв // *Агрохимия*. 1975. № 3. С. 36–40.
7. Гриндель Н.М., Зырин Н.Г. Метод определения и динамика органических соединений фосфора в пахотном горизонте малокультурной дерново-подзолистой почвы // *Почвоведение*. 1965. № 12. С. 17–27.
8. Гринец Л.В. Эффективность использования минеральных удобрений под зерновые культуры на черноземах обыкновенных северного

Казахстана в зависимости от их обеспеченности фосфором: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Троицк, 2009. 18 с.

9. *Гринец Л.В., Сенькова Л.А., Карпухин М.Ю.* Влияние доз и сочетаний минеральных удобрений на урожайность зерновых культур и качество зерна на черноземах обыкновенных при разной обеспеченности их фосфором. Екатеринбург: Уральский Государственный Аграрный Университет, 2019. 106 с.

10. *Дмитриенко П.А.* Фосфатный режим почв УССР и его улучшение // Тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 1957. Т. 30. С. 18–26.

11. *Дурасов А.М.* Черноземы Заилийского Алатау // Почвоведение. 1960. № 5. С. 11–19.

12. *Душечкин А.И.* Формы фосфора в почвах и отзывчивость почв на фосфатное удобрение // Удобрение и урожай. 1929. № 4. С. 195.

13. *Елешев Р.Е.* Эффективность различных форм фосфорных удобрений в условиях Казахстана // Справочник по применению удобрений. Алма-Ата: Кайнар, 1980. С. 80–83.

14. *Елешев Р.Е.* Фосфорные удобрения и урожай. Алма-Ата: Кайнар, 1984. 159 с.

15. *Елешев Р.Е., Есполов Е.И.* Урожайность сахарной свеклы при ленточном и разбросном внесении основного минерального удобрения // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. 1982. № 3. С. 12–14.

16. *Елешев Р.Е., Иванов А.Л.* Фосфорный режим карбонатных почв юго-востока Казахстана и его изменение в связи с применением удобрений // Агрохимия. 1986. № 2. С. 25–29.

17. *Иванов А.Л.* Принципы интегрированного управления фосфорным режимом почв в агрофитоценозах Казахстана: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Новосибирск, 1991. 38 с.

18. *Иванов А.Л., Елешев Р.Е.* Фосфатный режим почв Казахстана. Алма-Ата: Наука КазахССР, 1990. 160 с.

19. *Иванов А.Л., Елешев Р.Е.* Проблемы управления фосфорным режимом почв и пути повышения эффективности фосфорных удобрений в Казахстане. Алма-Ата: КазНИИНТИ, 1991. 50 с.

20. *Иванов А.Л., Сычев В.Г., Державин Л.М.* Агробιοгеохимический цикл фосфора. М.: Типография Россельхозакадемии, 2012. 512 с.

21. *Касицкий Ю.И.* Об оптимальном уровне обеспеченности почв СССР подвижным фосфором // Агрохимия. 1979. № 3. С. 135–151.

22. *Козыбаева Ф.Е.* Запасы и групповой состав фосфатов в почвах предгорий и подгорных равнин Заилийского Алатау: Дис. ... канд. с.-х. наук. Алма-Ата, 1974. 153 с.

23. *Кононова М.М.* Органическое вещество почвы, его природа, свойства и методы изучения. М.: АН СССР, 1963. 314 с.

24. *Кривоносова Г.М., Супруненко В.И.* Действие удобрений на содержание органических фосфатов в некоторых почвах Украины // *Агрохимия*. 1971. № 6. С. 27–30.
25. *Левенец П.П., Кривоносова Г.М.* Состав и содержание органических фосфатов в черноземах лесостепи УССР и их трансформация при внесении высоких доз минеральных удобрений // *Агрохимия*. 1974. № 7. С. 25–29.
26. *Макаров М.И.* Соединения фосфора в гумусовых кислотах почвы // *Почвоведение*. 1997. № 4. С. 458–466.
27. *Макаров М.И.* Фосфорсодержащие компоненты органического вещества почв: результаты спектроскопии  $^{31}\text{P}$  ядерного магнитного резонанса // *Почвоведение*. 2005. № 2. С. 172–185.
28. *Макаров М.И., Леошкина Н.А.* Фосфор фульватной фракции органического вещества почвы // *Почвоведение*. 2009. № 3. С. 301–308.
29. *Макаров М.И., Малышева Т.И.* Фосфор в гумусовых кислотах // *Почвоведение*. 2006. № 11. С. 1342–1351.
30. *Макаров М.И., Малышева Т.И., Недбаев Н.П., Окунева Р.М.* Фосфор органических соединений в гранулометрических фракциях некоторых типов почв // *Агрохимия*. 1999. № 7. С. 24–32.
31. *Меренова В.И.* Об усвоении высшими растениями органических соединений фосфора // В сбор. “Меченые атомы в исследованиях питания растений и применения удобрений”. Труды совещания. М.: АН СССР, 1955.
32. *Минеев В.Г., Дебрецени Б., Мазур Т.* Биологическое земледелие и минеральное удобрения. М.: “Колос”, 1993. 415 с.
33. *Могханм Ф.С., Рахимгалиева С.Ж., Донских И.Н.* Содержание и запасы фосфора и его подвижных соединений в пахотных темно-каштановых почвах на богаре и при длительном орошении в условиях Западного Казахстана // *Известия Санкт-Петербургского Государственного Аграрного Университета*. 2011. № 23. С. 79–82.
34. *Носко Б.С.* Регулирование фосфатного режима основных типов почв УССР // *Агрохимия*. 1983. № 10. С. 32–40.
35. *Носко Б.С.* Поглощение фосфора растениями из почв с различным фосфатным уровнем // *Агрохимия*. 1985. № 7. С. 26–31.
36. *Османьян Р.Г.* Эколого-биогеохимическое состояние орошаемых почв южного Казахстана // *Экологическая безопасность в АПК. Реферативный журнал*. 2009. № 1. С. 127.
37. Отчет о деятельности РГУ “Республиканский научно-методический центр агрохимической службы”. МСХ РК, п. Научный, 2016.
38. *Пономарева А.Т.* Фосфатный режим почв и фосфорные удобрения. Алма-Ата: “Кайнар”, 1970. 202 с.

39. *Пономарева А.Т.* Баланс питательных веществ в земледелии Казахстана и улучшение почвенного плодородия в связи с применением удобрений // Повышение продуктивности почв Казахстана. Алма-Ата: Наука, 1980. С. 11–20.
40. *Пономарева А.Т.* Продуктивность кормовых культур в зависимости от обеспеченности лугово-каштановой почвы фосфором, применение удобрений и баланса питательных веществ // Труды КазСХИ. 1989. С. 24–47.
41. *Пономарева Л.М.* Изменение химических и физико-химических свойств темно-серой оподзоленной почвы Левобережной северной лесостепи Украины под влиянием сельскохозяйственной культуры: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Харьков, 1971. 21 с.
42. *Ратнер Е.И., Самойлова С.А.* Усвоение растениями органических соединений ортофосфорной кислоты в связи с внеклеточной фосфатазной активностью корней // Физиология растений. 1955. Т. 2. Вып. 6. С. 518–528.
43. *Рахимгалиева С.Ж., Худякова В.М.* Содержание и запасы фосфора в темно-каштановых почвах Западного Казахстана при различном их использовании // Известия Санкт-Петербургского Государственного Аграрного Университета. 2010. № 18. С. 64–68.
44. *Синягин И.И.* Превращения фосфорных и калийных удобрений в почве и повышение их усвояемости. Москва, 1968. С. 72–82.
45. *Суценица Б.А.* Приемы эффективного использования удобрений в хлопково люцерновом севообороте. Обзор. Душанбе, 1978. 47 с.
46. *Умбетов А.К., Кежембаева Ж.К., Мамбетов К.Б.* Влияние удобрений на динамику нитратов и подвижного фосфора при минимализации обработки светло-каштановой почвы и продуктивность зерновых культур в условиях богары юго-востока Казахстана // Вестник Кыргызского Национального Аграрного Университета им. К.И. Скрябина. 2016. № 4(40). С. 145–149.
47. *Фокин А.Д., Синха М.К.* Связывание фосфата гумусовыми веществами почвы // Известия ТСХА. 1969. Вып. 4. С. 175–185.
48. *Хейфец Д.М.* Методика определения и содержание минеральных и органических соединений фосфора в некоторых почвах Советского Союза // Почвоведение. 1948. № 2. С. 100–112.
49. *Чиркова Р.А., Козыбаева Ф.А.* Запасы и групповой состав фосфатов в интразональных почвах подгорных равнин Заилийского Алатау // Агрохимия. 1978. № 2. С. 48–54.
50. *Чиркова Р.А., Козыбаева Ф.Е.* Запасы, групповой состав и доступность растениям фосфатов в почвах // Вестник с.-х. науки Казахстана. Алма-Ата, 1978. № 3. 48 с.

51. Чиркова Р.А., Козыбаева Ф.Е. Фосфор в почвах предгорных и подгорных равнин Заилийского Алатау // Повышение продуктивности почв Казахстана. Алма-Ата, “Наука”, 1980. 122 с.
52. Чумаченко И.Н. Фракционный состав фосфатов в почвах орошаемых районов Средней Азии // Агрехимия. 1969. № 7. С. 40–43.

#### REFERENCES

1. Basibekov B.S., Torshina O.B., Vliyanie dlitel'nogo primeneniya fosfornykh udobrenii na fosfatnyi rezhim svetlo-kashtanovoi pochvy i produktivnost' kul'tur sveklovichnogo sevooborota (The effect of long-term use of phosphorus fertilizers on the phosphate regime of kastanozems and the productivity of beet crop rotation), *Agrokhimiya*, 1975, No. 7, pp. 22–27.
2. Basibekov B.S., Torshina O.B., Balans fosfora v sveklovichnom sevooborote na svetlo-kashtanovoi pochve Yugo-Vostoka Kazakhstana (Phosphorus balance in beet crop rotation on kastanozems in the South-East of Kazakhstan), *Agrokhimiya*, 1978, No. 8, pp. 17–25.
3. Basibekov B.S., Torshina O.B., Balans kaliya v sveklovichnom sevooborote na svetlo-kashtanovoi pochve Yugo-vostoka Kazakhstana (Potassium balance in beet rotation on kastanozems in southeast Kazakhstan), *Agrokhimiya*, 1981, No. 10, pp. 42–49.
4. Batsula A.A., Krivososova G.M., Fosfor v guminovykh kislotakh i ful'vokislotakh nekotorykh pochv Ukrainy (Phosphorus in humic acids and fulvic acids of some soils of Ukraine), *Agrokhimiya*, 1973, No. 6, pp. 24–26.
5. Burangulova M.N., *Fosfatnyi rezhim pochv Bashkirii: Diss. ... dokt. s.-kh. nauk* (Phosphate regime of soils in Bashkiria, Dr. agric. sci. thesis), Voronezh, 1957, 38 p.
6. Vil'dflush I.R., Fraktsionnyi sostav organicheskikh fosfatov dlitel'no udobryaemykh dernovo-podzolistykh pochv (Fractional composition of organic phosphates of long-fertilized podzols), *Agrokhimiya*, 1975, No. 3, pp. 36–40.
7. Grindel' N.M., Zyrin N.G., Metod opredeleniya i dinamika organicheskikh soedinenii fosfora v pakhotnom gorizonte malookul'turnnoi dernovo-podzolistoï pochvy (Method for determination and dynamics of organic phosphorus compounds in the arable horizon of a poorly cultivated podzols), *Pochvovedenie*, 1965, No. 12, pp. 17–27.
8. Grinets L.V., *Effektivnost' ispol'zovaniya mineral'nykh udobrenii pod zernovye kul'tury na chernozemakh obyknovennykh severnogo Kazakhstana v zavisimosti ot ikh obespechennosti fosforom: Avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk* (Efficiency of using mineral fertilizers for grain crops on ordinary chernozems

of northern Kazakhstan, depending on their availability of phosphorus, Extended abstract of cand. agric. sci. thesis), Troitsk, 2009, 18 p.

9. Grinets L.V., Sen'kova L.A., Karpukhin M.Yu., *Vliyanie doz i sochetanii mineral'nykh udobrenii na urozhainost' zernovykh kul'tur i kachestvo zerna na chernozemakh obyknovennykh pri raznoi obespechennosti ikh fosforom* (The effect of doses and combinations of mineral fertilizers on the yield of grain crops and the quality of grain on ordinary chernozems with different levels of phosphorus supply), Ekaterinburg: Ural'skii Gosudarstvennyi Agrarnyi Universitet, 2019, 106 p.

10. Dmitrienko P.A., Fosfatnyi rezhim pochv USSR i ego uluchshenie (Phosphate soil regime of the Ukrainian SSR and its improvement), *Tr. Pochv. in-ta im. V.V. Dokuchaeva*, 1957, Vol. 30, pp. 18–26.

11. Durasov A.M., Chernozemy Zailiiskogo Alatau (Chernozems of Zailiysky Alatau), *Pochvovedenie*, 1960, No. 5, pp. 11–19.

12. Dushechkin A.I., Formy fosfora v pochvakh i otzyvchivost' pochv na fosfatnoe udobrenie (Forms of phosphorus in soils and soil responsiveness to phosphate fertilizer), *Udobrenie i urozhai*, 1929, No. 4, pp. 195.

13. Eleshev R.E., Effektivnost' razlichnykh form fosfornykh udobrenii v usloviyakh Kazakhstana (The effectiveness of various forms of phosphate fertilizers in Kazakhstan), *Spravochnik po primeneniyu udobrenii*, Alma-Ata: Kainar, 1980, pp. 80–83.

14. Eleshev R.E., Fosfornye udobreniya i urozhai (Phosphate fertilizers and crop), Alma-Ata: Kainar, 1984, 159 p.

15. Eleshev R.E., Espolov E.I., Urozhainost' sakharnoi svekly pri lentochnom i razbrosnom vnesenii osnovnogo mineral'nogo udobreniya (Productivity of sugar beet at tape and scatter application of the main mineral fertilizer), *Vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki Kazakhstana*, 1982, No. 3, pp. 12–14.

16. Eleshev R.E., Ivanov A.L., Fosfornyi rezhim karbonatnykh pochv yugovostoka Kazakhstana i ego izmenenie v svyazi s primeneniem udobrenii (Phosphorus regime of carbonate soils in the south-east of Kazakhstan and its change due to the use of fertilizers), *Agrokhimiya*, 1986, Vol. 2, pp. 25–29.

17. Ivanov A.L., *Principy integrirovannogo upravleniya fosfornym rezhimom pochv v agrofytocenozah Kazakhstana Aftoref. diss. ... dokt. biol. nauk* (Principles of integrated management of soil phosphorus regime in agrophytocoenoses of Kazakhstan, Extended abstract of Dr. agric. sci. thesis), Novosibirsk, 1991, 38 p.

18. Ivanov A.L., Eleshev R.E., *Fosfatnyj rezhim pochv Kazakhstana* (Phosphate soil regime of Kazakhstan), Alma-Ata: Nauka KazahSSR, 1990, 160 p.

19. Ivanov A.L., Eleshev R.E., *Problemy upravleniya fosfornym rezhimom pochv i puti povysheniya jeffektivnosti fosfornykh udobrenij v Kazakhstane* (Problems of managing the phosphorus regime of soils and ways to improve

the efficiency of phosphorus fertilizers in Kazakhstan), Alma-Ata: KazNIINTI, 1991, 50 p.

20. Ivanov A.L., Sychev V.G., Derzhavin L.M., *Agrobiogeohimicheskij cikl fosfora (Agrobiogeochemical cycle of phosphorus)*, Moscow: Tipografija Rossel'hozakademii, 2012, 512 p.

21. Kasitskii Yu.I., *Ob optimal'nom urovne obespechennosti pochv SSSR podvizhnym fosforom (On the optimal level of the supply of soils of the USSR with mobile phosphorus)*, *Agrokhimiya*, 1979, No. 3, pp. 135–151.

22. Kozybaeva F.E., *Zapasy i gruppovoi sostav fosfatov v pochvakh predgorii i podgornykh ravnin Zailiyskogo Alatau: Dis... kand. geogr. nauk (Reserves and group composition of phosphates in the soils of foothills and piedmont plains of Zailiysky Alatau, Cand. agric. sci. thesis)*, Alma-Ata, 1974, 153 p.

23. Kononova M.M., *Organicheskoe veshchestvo pochvy, ego priroda, svoystva i metody izucheniya (Organic matter of the soil, its nature, properties and methods of study)*, Moscow: AN SSSR, 1963, 314 p.

24. Krivonosova G.M., Suprunenko V.I., *Deistvie udobrenii na sodержanie organicheskikh fosfatov v nekotorykh pochvakh Ukrainy (The effect of fertilizers on the content of organic phosphates in some soils of Ukraine)*, *Agrokhimiya*, 1971, No. 6, pp. 27–30.

25. Levenets P.P., Krivonosova G.M., *Sostav i sodержanie organicheskikh fosfatov v chernozemakh lesostepi USSR i ikh transformatsiya pri vnesenii vysokikh doz mineral'nykh udobrenii (The composition and content of organic phosphates in the chernozems of the forest-steppe of the Ukrainian SSR and their transformation with the introduction of high doses of mineral fertilizers)*, *Agrokhimiya*, 1974, No. 7, pp. 25–29.

26. Makarov M.I., *Soedineniya fosfora v gumusovykh kislotakh pochvy (Phosphorus compounds in soil humic acids)*, *Pochvovedenie*, 1997, No. 4, pp. 458–466.

27. Makarov M.I., *Fosforsoderzhashchie komponenty organicheskogo veshchestva pochv: rezul'taty spektroskopii <sup>31</sup>P yadernogo magnitnogo rezonanca (Phosphorus-containing components of soil organic matter: results of <sup>31</sup>P nuclear magnetic resonance spectroscopy)*, *Pochvovedenie*, 2005, No. 2, pp. 172–185.

28. Makarov M.I., Leoshkina N.A., *Fosfor ful'vatnoi fraktsii organicheskogo veshchestva pochvy (Phosphorus fulvate fraction of soil organic matter)*, *Pochvovedenie*, 2009, No. 3, pp. 301–308.

29. Makarov M.I., Malysheva T.I., *Fosfor v gumusovykh kislotakh (Phosphorus in humic acids)*, *Pochvovedenie*, 2006, No. 11, pp. 1342–1351.

30. Makarov M.I., Malysheva T.I., Nedbaev N.P., Okuneva R.M., *Fosfor organicheskikh soedinenii v granulometricheskikh fraktsiyakh nekotorykh*

tipov pochv (Phosphorus of organic compounds in granulometric fractions of some soil types), *Agrokimiya*, 1999, No. 7, pp. 24–32.

31. Merenova V.I., *Ob usvoenii vysshimi rasteniyami organicheskikh soedinenii fosfora* (On the assimilation by higher plants of organic phosphorus compounds), “Mechenye atomy v issledovaniyakh pitaniya rastenii i primeneniya udobrenii”, Moscow: AN SSSR, 1955, 212 p.

32. Mineev V.G., Debretseni B., Mazur T., *Biologicheskoe zemledelie i mineral'noe udobreniya* (Biological Farming and Mineral Fertilizers), Moscow: “Kolos”, 1993, 415 p.

33. Mogkhanm F.S., Rakhimgaliev S.Zh., Donskikh I.N., Soderzhanie i zapasy fosfora i ego podvizhnykh soedinenii v pakhotnykh temno-kashtanovykh pochvakh na bogare i pri dlitel'nom oroshenii v usloviyakh Zapadnogo Kazakhstana (The content and reserves of phosphorus and its mobile compounds in arable kashtanozems on drylands and with prolonged irrigation in the conditions of Western Kazakhstan), *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta*, 2011, No. 23, pp. 79–82.

34. Nosko B.S., Regulirovanie fosfatnogo rezhima osnovnykh tipov pochv USSR (Regulation of the phosphate regime of the main soil types of the Ukrainian SSR), *Agrokimiya*, 1983, No. 10, pp. 32–40.

35. Nosko B.S., Pogloshchenie fosfora rasteniyami iz pochv s razlichnym fosfatnym urovnem (Phosphorus absorption by plants from soils with different phosphate levels), *Agrokimiya*, 1985, No. 7, pp. 26–31.

36. Osman'jan R.G., Jekologo-biogeohimicheskoe sostojanie oroshaemykh pochv juzhnogo Kazakhstana (Ecological and biogeochemical condition of irrigated soils of southern Kazakhstan), *Jekologicheskaja bezopasnost' v APK, Referativnyj zhurnal*, 2009, No. 1, p. 127.

37. *Otchet o deyatel'nosti RGU “Respublikanskii nauchno-metodicheskii tsentr agrokhimicheskoi sluzhby”* (Report on the activities of the RSU “Republican Scientific and Methodological Center of the Agrochemical Service”), Nauchnyi: MSKh RK, 2016, 110 p.

38. Ponomareva A.T., *Fosfatnyi rezhim pochv i fosfornye udobreniya* (Phosphate regime of soils and phosphate fertilizers), Alma-Ata: “Kainar”, 1970, 202 p.

39. Ponomareva A.T., *Balans pitatel'nykh veshchestv v zemledelii Kazakhstana i uluchshenie pochvennogo plodorodiya v svyazi s primeneniem udobrenii* (The balance of nutrients in agriculture in Kazakhstan and the improvement of soil fertility in connection with the use of fertilizers), *Povyshenie produktivnosti pochv Kazakhstana*, Alma-Ata: Nauka, 1980, 156 p.

40. Ponomareva A.T., *Produktivnost' kormovykh kul'tur v zavisimosti ot obespechennosti lugovo-kashtanovoi pochvy fosforom, primeneniye udobrenii i balansa pitatel'nykh veshchestv* (The productivity of fodder crops, depending on the availability of phosphorus in kastanozems, the use of fertilizers and nutrient balance), 1989, 110 p.
41. Ponomareva L.M., *Izmeneniye khimicheskikh i fiziko-khimicheskikh svoystv temno-seroi opodzolnenoi pochvy Levoberezhnoi severnoi lesostepi Ukrainy pod vliyaniem sel'skokhozyaistvennoi kul'tury: Avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk.* (Changes in the chemical and physico-chemical properties of the dark gray podzolized soil of the Left-bank northern forest-steppe of Ukraine under the influence of agricultural crops, Extended abstract of cand. agricul. sci. thesis), Khar'kov, 1971, 21 p.
42. Ratner E.I., Samoilova S.A., *Usvoeniye rasteniyami organicheskikh soedinenii ortofosfornoj kisloty v svyazi s vnekletochnoi fosfataznoi aktivnost'yu kornei* (Assimilation by plants of organic compounds of phosphoric acid in connection with extracellular phosphatase activity of roots), *Fiziologiya rastenii*, 1955, Vol. 2, No. 6, pp. 518–528.
43. Rakhimgalieva S.Zh., Khudyakova V.M., *Soderzhanie i zapasy fosfora v temno-kashtanovykh pochvakh Zapadnogo Kazakhstana pri razlichnom ikh ispol'zovanii* (The content and reserves of phosphorus in the kastanozems of Western Kazakhstan with their various uses), *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta*, 2010, No. 18, pp. 64–68.
44. Sinyagin I.I., *Prevrashcheniya fosfornykh i kaliynykh udobrenii v pochve i povysheniye ikh usvoyaemosti* (Transformation of phosphorus and potassium fertilizers in the soil and increase their digestibility), Moscow, 1968, pp. 72–82.
45. Sushchenitsa B.A., *Priemy effektivnogo ispol'zovaniya udobrenii v khlopkovo lyutsernovom sevooborote* (Techniques for the efficient use of fertilizers in cotton alfalfa crop rotation), Dushanbe, 1978, 47 p.
46. Umbetov A.K., Kezhembaeva Zh.K., Mambetov K.B., *Vliyanie udobrenii na dinamiku nitratov i podvizhnogo fosfora pri minimalizatsii obrabotki svetlo-kashtanovoi pochvy i produktivnost' zernovykh kul'tur v usloviyakh bogary yugo-vostoka Kazakhstana* (The effect of fertilizers on the dynamics of nitrates and mobile phosphorus while minimizing the processing of kastanozems and the productivity of crops in the conditions of rainfed southeast Kazakhstan), *Vestnik Kyrgyzskogo Natsional'nogo Agrarnogo Universiteta im. K.I. Skryabina*, 2016, No. 4(40), pp. 145–149.
47. Fokin A.D., Sinkha M.K., *Svyazyvaniye fosfata gumusovymi veshchestvami pochvy* (Phosphate binding to soil humic substances), *Izvestiya TSKhA*, 1969, No. 4, pp. 175–185.

48. Kheifets D.M., Metodika opredeleniya i sodержanie mineral'nykh i organicheskikh soedinenii fosfora v nekotorykh pochvakh Sovetskogo Soyuz (Methodology for determination and content of mineral and organic phosphorus compounds in some soils of the Soviet Union), *Pochvovedenie*, 1948, No. 2, pp. 100–112.
49. Chirkova R.A., Kozybaeva F.A., Zapasy i gruppovoi sostav fosfatov v intrazonal'nykh pochvakh podgornykh ravnin Zailiiskogo Alatau (Reserves and group composition of phosphates in the intrazonal soils of piedmont plains of Zailiysky Alatau), *Agrokimiya*, 1978, No. 2, pp. 48–54.
50. Chirkova R.A., Kozybaeva F.E., Zapasy, gruppovoi sostav i dostupnost' rasteniyam fosfatov v pochvakh (Reserves, group composition and availability to plants of phosphates in soils), *Vestnik s.-kh. nauki Kazakhstana*, 1978, No. 3, pp. 42–48.
51. Chirkova R.A., Kozybaeva F.E., Fosfor v pochvakh predgornykh i podgornykh ravnin Zailiiskogo Alatau (Phosphorus in the soils of foothill and foothill plains of Zailiysky Alatau), *Povyshenie produktivnosti pochv Kazakhstana*, Alma-Ata: “Nauka”, 1980, 122 p.
52. Chumachenko I.N., Fraktsionnyi sostav fosfatov v pochvakh oroshaemykh raionov Srednei Azii (Fractional composition of phosphates in soils of irrigated areas of Central Asia), *Agrokimiya*, 1969, No. 7, pp. 40–43.