

### Агрохимические показатели дерново-подзолистой супесчаной почвы под влиянием удобрительных смесей с осадком сточных вод

Галина Юрьевна Рабинович, Елена Александровна Подолян, Татьяна Степановна Зинковская, Ольга Николаевна Анциферова  
ФИЦ «Почвенный институт им.В.В. Докучаева», г. Москва, Россия  
2016vniimz-noo@list.ru

**Аннотация.** В работе представлены данные трехлетнего полевого опыта по изучению действия совместного внесения осадка сточных вод (ОСВ) и дополнительных органических субстратов (опилки, торфа, соломы) в разном соотношении (1:1, 1:2, 1:3) на содержание основных элементов питания дерново-подзолистой супесчаной почвы и урожайность полевых культур в звене полевого севооборота: викоовсяная смесь – озимая рожь – яровой ячмень. Для сравнительной характеристики в эксперимент включен вариант с готовым компостом на основе ОСВ. Содержание основных элементов питания в пахотном горизонте почвы находилось в прямой зависимости от доли участия ОСВ в составе смеси. Наиболее эффективное влияние на изучаемые показатели обеспечило внесение ОСВ с торфом в соотношении 1:1. В течение 3 лет содержание минерального азота превышало действие компоста на 12,5–32,6 %, подвижного фосфора – на 7,0–32,9 %, обменного калия – на 15,6–18,5 %. При внесении ОСВ и торфа (1:1) отмечено существенное увеличение урожая полевых культур относительно варианта с готовым компостом: викоовсяной смеси – на 37,5 %, озимой ржи – на 9,2 %, ярового ячменя – на 10,0 %. Остальные виды удобрительных смесей с участием ОСВ также оказали положительное влияние на агрохимические характеристики почвы и урожайность культур по сравнению с контролем. В год прямого действия прибавка биомассы составила 30,9–74,5 % (викоовсяная смесь), в первый год последействия – 21,5–53,4 % (озимая рожь), во второй год последействия – 56,4–94,8 % (ячмень). Изучаемая доза ОСВ 30 т/га не вызывала избыточного накопления токсичных элементов в зерне озимой ржи и ярового ячменя.

**Ключевые слова:** осадок сточных вод; агрохимические показатели; опилки; торф; солома; нетрадиционное органическое удобрение; урожайность.

**Для цитирования:** Рабинович Г. Ю., Подолян Е. А., Зинковская Т. С., Анциферова О. Н. Агрохимические показатели дерново-подзолистой супесчаной почвы под влиянием удобрительных смесей с осадком сточных вод // Аграрный научный журнал. 2021. № 12. С. 69–74. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2021i12pp69-74>.

#### AGRONOMY

Original article

### Agrochemical indicators of sod-podzolic sandy loam soil under the influence of fertilizer mixtures with sewage sludge

Galina Yu. Rabinovich, Elena A. Podolyan, Tatiana S. Zinkovskaya, Olga N. Antsiferova  
FRC V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russia  
2016vniimz-noo@list.ru

**Abstract.** The paper presents the data of a three-year field experience on the study of the effect of the combined introduction of sewage sludge (WWS) and additional organic substrates (sawdust, peat, straw) in different ratios (1: 1, 1: 2, 1: 3) on the content of basic nutrients sod-podzolic sandy loam soil and the yield of field crops in the crop rotation link: vetch-oat mixture – winter rye – spring barley. For comparative characteristics, the experiment included a variant with ready-made compost based on WWS. The content of the main nutrients in the plow horizon of the soil was in direct proportion to the share of WWS in the composition of the mixture. The most effective influence on the studied parameters was provided by the introduction of WWS with peat in a 1:1 ratio. For 3 years, the content of mineral nitrogen exceeded the effect of compost by 12.5–32.6%, mobile phosphorus – by 7.0–32.9%, exchangeable potassium – by 15.6–18.5%. With the introduction of WWS and peat (1: 1), there was a significant increase in the yield of field crops relative to the option with ready-made compost: vetch-oat mixture – by 37.5%, winter rye – by 9.2%, spring barley – by 10.0%. Other types of fertilizer mixtures with the participation of WWS also had a positive effect on the agrochemical characteristics of the soil and yield in comparison with the control. In the year of direct action, the biomass increase was 30.9–74.5% (vetch-oat mixture), in the first year of aftereffect – 21.5–53.4% (winter rye), in the second year of aftereffect – 56.4–94.8%. The studied dose of WWS of 30 t / ha did not cause excessive accumulation of toxic elements in the grain of winter rye and spring barley.

**Keywords:** sewage sludge; agrochemical indicators; sawdust; peat; straw; non-traditional organic fertilizer; yield.

**For citation:** Rabinovich G.Yu., Podolyan E.A., Zinkovskaya T.S., Antsiferova O.N. Agrochemical indicators of sod-podzolic sandy loam soil under the influence of fertilizer mixtures with sewage sludge. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2021;(12): 69–74 (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2021i12pp69-74>.

**Введение.** Формирование урожая полевых культур сопровождается значительным выносом питательных элементов из плодородного слоя почвы. Это может, в конечном счете, приводить к полному истощению почвенного компонента экосистем. В связи с этим восполнение уровня плодородия должно обеспечиваться внесением удобрений. Однако их широкое применение является для многих сельскохозяйственных производителей весьма дорогостоящим мероприятием. По этой причине необходим поиск нетрадиционных удобрений или их компонентов, которые могли бы быть менее затратными. К таким относится осадок сточных вод (ОСВ), содержащий в своем составе комплекс основных элементов питания для растений. При правильном расчете норм внесения он способен





компенсировать их недостаток в почве. Особенностью органических удобрений является постепенная минерализация входящих в их состав соединений, что не создает резкой избыточной концентрации химических веществ, отравляющих почву и растения. В то же время при неблагоприятных условиях (низкая температура почвы, недостаточная аэрация, избыточная влажность) разложение органических удобрений может происходить слишком медленно, поэтому возделываемые культуры будут испытывать нехватку элементов питания, в том числе азота, на первом этапе своего развития.

Целью настоящей работы являлось изучение динамики питательного режима дерново-подзолистой супесчаной почвы под воздействием свежего осадка сточных вод, вносимого совместно с дополнительными органическими субстратами, в звене полевого севооборота.

**Методика исследований.** Для реализации цели исследований был проведен трехлетний мелкоделяночный полевой опыт на дерново-подзолистой супесчаной почве. До закладки опыта пахотный горизонт имел слабокислую реакцию ( $pH_{KCl}$  5,7), высокую обеспеченность подвижным фосфором (241 мг/кг почвы) и среднюю обменным калием (124 мг/кг почвы). Содержание гумуса в данной почве не превышало 1,3%, а степень насыщенности основаниями достигала 60%.

Звено полевого севооборота включало викоовсяную смесь, озимую рожь, яровой ячмень.

ОСВ вносили один раз в начале эксперимента совместно с органическими субстратами (торфом, опилками, соломой), в составе так называемых удобрительных смесей, в дозе 60 т/га. Для сравнительной характеристики в опыт был включен вариант с компостом на основе ОСВ, заготавливаемом на станции очистных сооружений г. Твери. Схема опыта состояла из следующих вариантов: 1) контроль – без удобрений; 2) компост; 3) ОСВ:опилки – 1:1; 4) ОСВ:опилки – 1:2; 5) ОСВ:опилки – 1:3; 6) ОСВ:торф – 1:1; 7) ОСВ:торф – 1:2; 8) ОСВ:торф – 1:3; 9) ОСВ:солома – 1:1; 10) ОСВ:солома – 1:2; 11) ОСВ:солома – 1:3. Повторность опыта 4-кратная, размер делянки – 4 м<sup>2</sup>. Между делянками располагались защитные полосы шириной 0,5 м.

Перед закладкой опыта был проведен химический анализ применяемых субстратов. Свежий ОСВ содержал:  $N_{общ}$  – 3,43 %,  $P_2O_5$  – 1,70 %,  $K_2O$  – 0,29 %,  $C_{орг}$  – 33,6 %; опилки:  $N_{общ}$  – 4,80 %,  $P_2O_5$  – 0,46 %,  $K_2O$  – 0,30 %,  $C_{орг}$  – 45,0 %; торф:  $N_{общ}$  – 5,10 %,  $P_2O_5$  – 0,35 %,  $K_2O$  – 0,15 %,  $C_{орг}$  – 44,9 %; солома:  $N_{общ}$  – 0,43 %,  $P_2O_5$  – 0,80 %,  $K_2O$  – 0,80 %,  $C_{орг}$  – 46,6 %; компост на основе ОСВ:  $N_{общ}$  – 2,10%,  $P_2O_5$  – 0,33%,  $K_2O$  – 0,15%,  $C_{орг}$  – 44,3%.

Также в своем составе ОСВ содержал токсичные элементы, количество которых не превышало ПДК (табл. 1).

Нитратный азот в почве определяли ионометрическим методом [5], аммиачный азот – с реактивом Несслера [1], подвижные формы фосфора – в вытяжке Кирсанова на электрофотоколориметре [4], обменный калий – в вытяжке Кирсанова с окончанием на пламенном фотометре [4]. В конце каждого вегетационного сезона поделночно учитывали урожай культур.

Таблица 1

Валовое содержание тяжелых металлов и мышьяка в осадке сточных вод г. Твери, мг/кг сухого вещества

Химический элемент	ОСВ	ПДК*	
		I группа	II группа
Медь	565	750	1500
Цинк	793	1750	3500
Свинец	41	250	500
Кадмий	3	15	30
Хром	58	500	1000
Никель	86	200	400
Мышьяк	4	10	20

Примечания: \* ПДК указаны о ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 [6].

Осадки I группы используют под все виды сельскохозяйственных культур, кроме овощных, грибов, зеленных и земляники.

Осадки группы II используют под зерновые, зернобобовые, зернофуражные и технические культуры.

**Результаты исследований.** В наших исследованиях по изучению влияния на агрохимические показатели ОСВ, вносимого совместно с различными органическими субстратами в дерново-подзолистую супесчаную почву, выявлены изменения в содержании подвижных элементов питания. Климатические условия в годы проведения эксперимента были неодинаковы. Количество выпавших осадков в первой половине вегетационного периода 2015 г. соответствовало норме, во второй – превышало среднее многолетнее значение в 1,4 раза. Вегетационный период 2016 г. по увлажнению не отличался от нормы. В мае и июне 2017 г. осадков выпало больше в 1,6 раза, а последующие месяцы года были несколько засушливыми. Таким образом, в 2017 г. имели место затяжная весна и прохладное начало лета, которые тормозили важнейшие процессы, в том числе нитрификации, по причине снижения активности микроорганизмов [2, 7, 8].

При сравнении динамики аммиачного и нитратного азота в начале первого года проведения опыта наблюдалось преобладание процессов нитрификации над аммонификацией. В этот период весной в почве создавались благоприятные условия для разложения органических азотистых соединений с образованием аммиака, и одновременно происходило его окисление до нитратов. Далее в течение всей вегетации содержание нитратной формы азота во всех вариантах опыта было ниже по сравнению с аммиачной формой. Как известно [3, 8], нитратная форма азота не закрепляется в почве и способна вымываться в нижележащие горизонты.



На содержание аммиачной и нитратной формы азота оказывала влияние доля осадка сточных вод в составе удобрительной смеси. Использование ОСВ и органических субстратов в соотношениях 1:1 и 1:2 обеспечивало преимущество в накоплении форм азота по сравнению с соотношением 1:3. Так, в начале июня 2015 г. (год прямого действия) в вариантах со смесью ОСВ с опилками, с торфом и соломой в соотношении 1:1 содержание аммиачного азота составило 15,7; 16,2; 15,8 мг/кг соответственно. При расширении соотношения 1:3 эти показатели были ниже. Стоит отметить, что повышенное количество аммиачного азота наблюдалось при внесении ОСВ и торфа в соотношении 1:1 – 16,2 мг/кг (рис. 1). Вариант с внесением компоста был на уровне 14,6 мг/кг.

К концу вегетационного периода этого года (год закладки) отмечено повышение аммиачной формы минерального азота во всех вариантах с удобрительными смесями, связанное как с климатическими условиями, так и с процессами трансформации.

В 2016 г. (первый год последействия исследуемых удобрений) максимальное содержание этой формы минерального азота выявлено в июне под действием ОСВ:торф 1:1 – 20,0 мг/кг, что превышало контрольный вариант на 6,7 мг/кг. Прибавка к контролю при внесении готового компоста составила 5,1 мг/кг. В 2017 г. (второй год последействия) удобрительные смеси, как и компост, увеличили количество аммиачного азота относительно контроля. Наибольшее его содержание (18,4 мг/кг), как и в предыдущие годы, отмечено в июне под влиянием ОСВ:торф 1:1, что превысило контроль на 6,8 мг/кг. К концу вегетационного периода наблюдалось последовательное снижение данной формы азота, характерное для всех вариантов опыта. Наименьшее содержание отмечено на делянках, где вносили ОСВ совместно с соломой. Известно, что применение соломы в качестве удобрения способствует повышению иммобилизации азота, который биологически закрепляется в микробной биомассе и становится доступен растениям после длительного периода [11].

Таким образом, в течение трех лет проведения опыта наибольшее влияние на содержание аммиачного азота оказали смеси ОСВ и органических субстратов в соотношении 1:1. Среди них выделялся вариант смеси ОСВ:торф. За период 2015-2017 гг. прибавка к контролю варьировала от 2,4 до 7,0 мг/кг соответственно. Самое высокое содержание  $\text{NH}_4^+$  под действием этого вида удобрительной смеси было выявлено в середине вегетации второго года последействия. Начиная с 2016 г. (первый год последействия), компост уступал смеси ОСВ:торф в соотношении 1:1. В течение 3 лет прибавка при внесении компоста колебалась от 0,8 до 5,1 мг/кг по отношению к контролю.

Что касается другой формы минерального азота – нитратной, то ее повышенное содержание в середине вегетации 2015 г. (год прямого действия) наблюдалось в варианте с применением смеси ОСВ:торф 1:1 и готового компоста (рис. 2). Содержание нитратов в этих вариантах находилось на уровне 18,5 мг/кг, что превышало контроль на 9,9 мг/кг. Остальные исследуемые виды удобрительных смесей с опилками и соломой имели меньшее влияние на данный показатель, связанное с повышенным содержанием в них трудно разлагаемых соединений.

В начале вегетации 2016 г. (первый год последействия) было отмечено меньшее содержание нитратов по сравнению с 2015 г. В летний период наблюдалось увеличение этой формы азота в варианте ОСВ:торф 1:1 относительно других вариантов. Оно составило 15,7 мг/кг, на контроле – 7,8 мг/кг, в варианте с компостом – 13,8 мг/кг. К уборке в почве всех вариантов опыта шло снижение этого показателя, связанное как с его потреблением возделываемой культурой (озимой рожью), так и с процессами трансформации.

К третьему году проведения эксперимента в начале вегетации (2017 г.), как и в предыдущие годы, наиболее высокое содержание нитратов наблюдалось при внесении ОСВ:торф 1:1 (15,8 мг/кг). Прибавка к контролю составила 9,9 мг/кг. Влияние компоста было ниже по сравнению с действием данной удобрительной смеси: содержание нитратного азота в почве, где вносили компост, находилось в пределах 13,5 мг/кг.

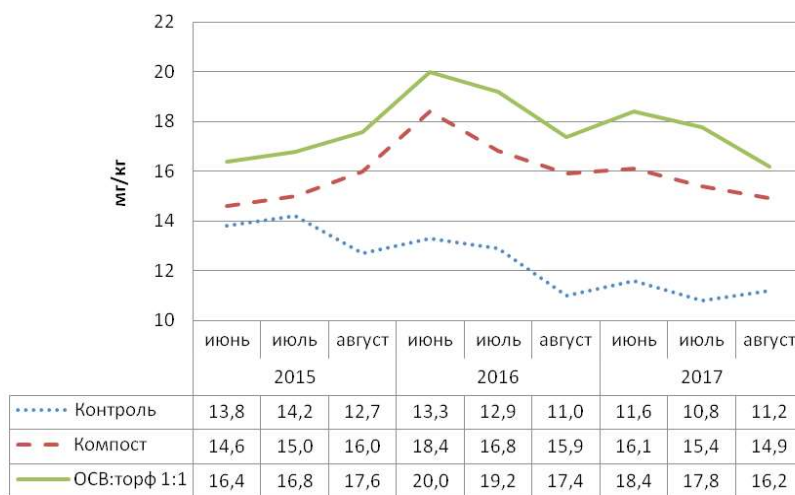


Рис. 1. Влияние удобрительных смесей на содержание аммиачной формы азота в дерново-подзолистой супесчаной почве, мг/кг

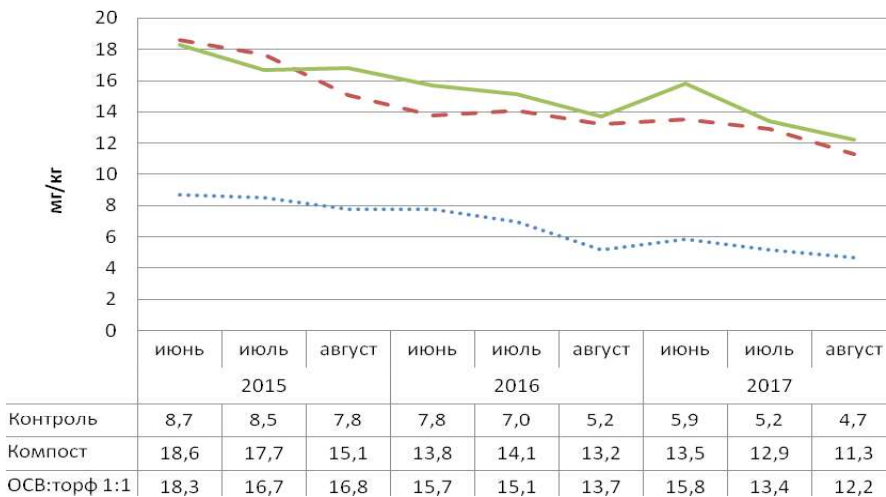


Рис. 2. Влияние удобрительных смесей на содержание нитратной формы азота в дерново-подзолистой супесчаной почве, мг/кг



В остальных вариантах также отмечено увеличение нитратов относительно контроля, но в меньшей степени, чем в варианте ОСВ:торф 1:1. При уменьшении количества ОСВ в составе смеси выявили снижение содержания данной формы азота. Так, в варианте ОСВ:торф 1:1 в середине вегетации (период активного потребления) этот показатель равнялся 13,4 мг/кг, а в варианте ОСВ:торф 1:3 – 9,4 мг/кг.

В целом, к концу эксперимента происходил спад содержания нитратного азота во всех варианта опыта. Тем не менее, в почве удобренных участков содержание этой формы азота было выше, чем на контроле. Самое высокое количество обеих форм азота за 3 года выявлено при внесении ОСВ совместно с торфом в соотношении 1:1.

Динамика фосфора с почве связана с многочисленными факторами, в том числе и с процессами трансформации вносимых субстратов. Почва опыта до закладки характеризовалась высоким содержанием фосфора и средним – калия. Содержание подвижного фосфора в зависимости от применения удобрительных смесей было неодинаковым. В начале вегетации в 2015 г. (год прямого действия) увеличение содержания подвижного фосфора относительно контроля было в варианте ОСВ:торф 1:1 (17,0 мг/кг), а самое низкое – при внесении ОСВ и соломы в соотношении 1:3 (4,0 мг/кг). В течение всего вегетационного периода 2015 г. повышенное содержание этого элемента, как и минерального азота, наблюдалось при внесении ОСВ и торфа в соотношении 1:1 (рис. 3). Немного уступал ему вариант ОСВ с опилками в

соотношении 1:1. Результат данных вариантов опыта превышал действие компоста на 7,5 мг/кг.

В первый год последействия (2016 г.) все исследуемые виды удобрений вызвали возрастание подвижного фосфора в корнеобитаемом слое почвы относительно контроля независимо от соотношения осадка и дополнительного субстрата. Особенно заметным оказалось это увеличение в почве с ОСВ и торфом в соотношении 1:1. В течение всего периода вегетации содержание  $P_2O_5$  было на 11,0-18,0 мг/кг больше, чем в варианте с компостом. Остальные виды исследуемых удобрительных смесей несколько уступали ему, но имели существенную прибавку к контрольному варианту опыта.

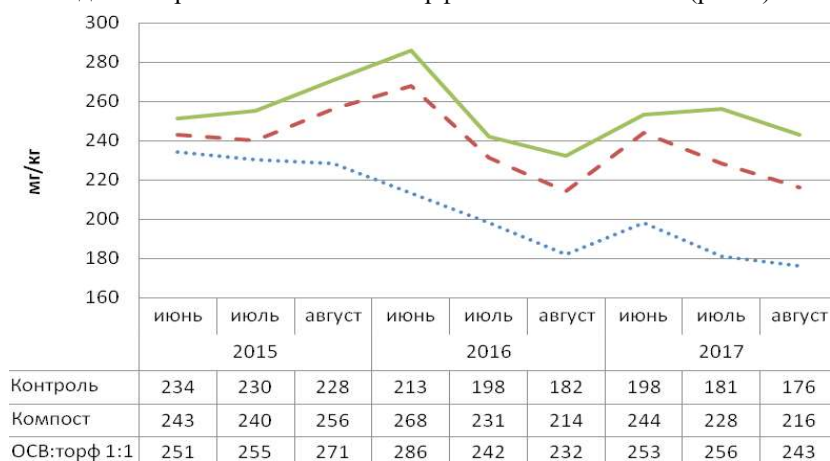


Рис. 3. Влияние смесей на основе ОСВ на содержание подвижного фосфора в дерново-подзолистой супесчаной почве, мг/кг

Во второй год последействия (2017 г.) сезонная динамика изменения в содержании подвижного фосфора в почве при внесении удобрительных смесей также отличалась от варианта с использованием компоста. Так, при использовании ОСВ:торф 1:1 содержание этого показателя (в период активного потребления растениями) было на уровне 249 мг/кг, а в варианте с компостом наблюдалось его уменьшение до 216 мг/кг. К концу 2017 г. содержание подвижного фосфора было увеличенным во всех вариантах относительно контроля независимо от соотношения ОСВ и субстратов. Это говорит о повышенной фосфатмобилизующей деятельности микроорганизмов, связанной с органическим веществом удобрительных смесей даже в период их пролонгации.

При внесении исследуемых удобрительных смесей также выявлено изменение содержания калия в почве. В начале вегетации 2015 г. на увеличении обменного калия лучше всего отразилось внесение готового компоста, степень минерализации которого была выше по сравнению со свежим ОСВ. Тем не менее, все варианты опыта, где вносили ОСВ совместно с органическими субстратами, обеспечили прибавку содержания обменного калия к контролю. По мере сокращения доли ОСВ в составе смеси наблюдалось снижение данного показателя. Так, если в варианте ОСВ:торф 1:1 прибавка к контролю составила 14,0 мг/кг, то в варианте ОСВ:торф 1:3 она была всего 3,0 мг/кг (рис. 4).

Как и в год прямого действия (2015 г.), в первый год последействия (2016 г.) среди всех видов смесей внесение ОСВ и торфа в соотношении 1:1 оказало лучшее воздействие на пополнение содержания этого элемента в почве.

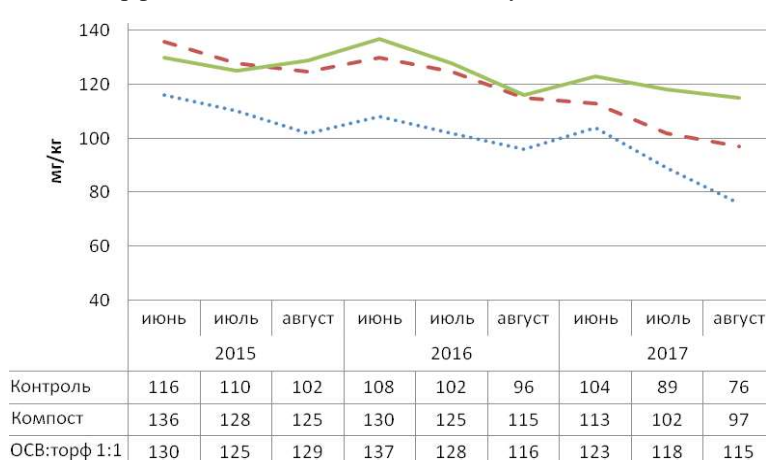


Рис. 4. Влияние смесей на основе ОСВ на содержание обменного калия в дерново-подзолистой супесчаной почве, мг/кг

Прибавка к контролю в данном варианте составила 29 мг/кг, что было несколько выше, чем в варианте с компостом.

В течение всего периода проведения эксперимента отмечен положительный баланс обменного калия в варианте с внесением ОСВ и торфа в соотношении 1:1. Влияние компоста на содержание этого элемента в первые два года было на уровне варианта ОСВ и торфа (1:1). В конце третьего года произошло снижение калия на 18 мг/кг относительно варианта с удобрительной смесью. Что касается контроля, то к завершению эксперимента содержание калия в почве этого варианта уменьшилось на 48 мг/кг относительно исходного. В остальных вариантах также наблюдался его спад, связанный с низ-

ким уровнем обменного калия в самом осадке, его потреблением на формирование урожая и идущими процессами трансформации.

Снижение содержания обменного калия в почве, связанное с использованием ОСВ, отмечено и в исследованиях других авторов. Так, в опытах ВНИИА по применению осадка сточных вод под плодово-ягодные культуры в течение 10 лет выявлен дисбаланс этого элемента. Если по отношению к фосфору почва стала высокообеспеченной, то по отношению к калию испытывала недостаток [10]. В связи с этим запасы калия требуется пополнять минеральными удобрениями. Так, в исследованиях [11] выявлено, что при их совместном применении содержание подвижного калия в дерново-подзолистой супесчаной почве возрастало на 50–75 %

Изменение содержания элементов питания почвы под действием удобрительных смесей обеспечило увеличение урожайности полевых культур по отношению к контрольному варианту опыта. На рис. 5 показана урожайность звена севооборота в целом и доля каждой культуры в нем.

В 2015 г. (год прямого действия) прибавка биомассы викоовсяной смеси составила 30,9–80,0% относительно контроля, в 2016 г. (первый год последействия) – 21,5–53,4% (озимая рожь), в 2017 г. (второй год последействия) – 56,4–98,3% (ячмень). Выявлено, что прибавка урожайности возрастает в зависимости от увеличения доли ОСВ в составе смеси. Так, наибольшая урожайность отмечена в вариантах опыта, где было соотношение ОСВ:органический субстрат 1:1. Схожая тенденция наблюдалась на протяжении всех трех лет исследования, что связано с постепенной минерализацией внесенных удобрений в годы последействия. По отношению же к виду дополнительного компонента в исследуемых смесях лучший результат показало добавление к ОСВ торфа или опилок. Готовый компост уступал смесям ОСВ и наполнителей, используемым в соотношении 1:1.

Ввиду того, что в состав ОСВ входят токсичные соединения, важно чтобы получаемая растениеводческая продукция соответствовала нормам СанПиН 42-123-4089-86 [13] и не приносила вред здоровью. Результаты анализа урожая подтвердили, что внесение ОСВ в составе смеси с органическими субстратами в изучаемых объемах (до 30 т/га) не приводит к избыточному накоплению тяжелых металлов (табл. 2).

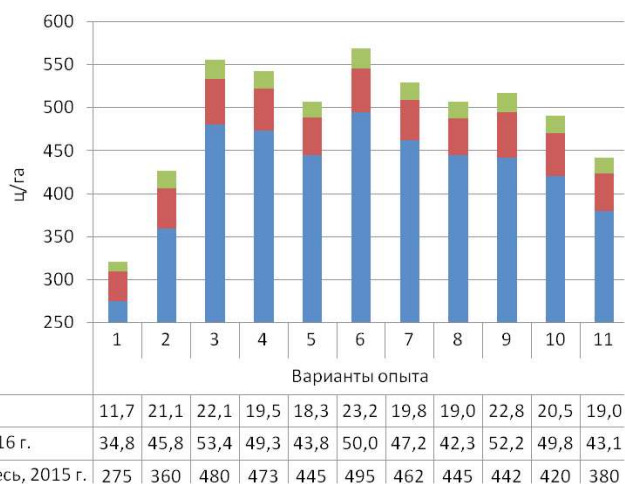


Рис. 5. Урожайность полевых культур в звене полевого севооборота, ц/га

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов и мышьяка в полученном урожае

Варианты опыта	Мышьяк		Медь		Цинк		Свинец		Кадмий	
	рожь	ячмень	рожь	ячмень	рожь	ячмень	рожь	ячмень	рожь	ячмень
1	0,001	0,001	0,4	0,3	8,3	8,9	0,03	0,04	0,01	0,01
2	0,04	0,04	2,3	2,6	24,8	24,1	0,12	0,16	0,01	0,01
3	0,07	0,09	4,2	4,8	28,7	28,1	0,17	0,23	0,03	0,04
4	0,06	0,07	3,8	4,3	23,1	23,4	0,12	0,18	0,03	0,03
5	0,06	0,07	2,7	3,8	19,5	19,5	0,09	0,1	0,02	0,03
6	0,08	0,08	4,6	4,7	27,9	29,6	0,17	0,2	0,03	0,03
7	0,07	0,07	4,1	4	21,6	26,3	0,13	0,16	0,02	0,03
8	0,06	0,06	2,3	2,9	17,2	17,6	0,09	0,12	0,02	0,02
9	0,06	0,07	3,9	3,7	28,5	30,2	0,21	0,28	0,04	0,04
10	0,06	0,07	3,7	3,9	22,3	26,7	0,16	0,21	0,03	0,03
11	0,06	0,01	2,5	3,2	18,4	20,3	0,08	0,14	0,03	0,03
ПДК	0,2		10		50		0,5		0,1	

Отмечена прямая зависимость между количеством внесенного осадка и уровнем токсичных элементов в полученной продукции. Снижение доли осадка в смеси ОСВ (15 т/га) к опилкам (45 т/га) – 1:3 привело к уменьшению тяжелых металлов в зерне ярового ячменя относительно соотношения ОСВ (30 т/га) к опилкам (30 т/га) – 1:1. Так, содержание мышьяка уменьшилось на 0,06 мг/кг; меди – на 2,7 мг/кг; цинка – 19,5 мг/кг; свинца – 0,06 мг/кг; кадмия – 0,02 мг/кг; кобальта – 0,37 мг/кг. Схожая тенденция наблюдается и при применении смесей ОСВ с торфом и ОСВ с соломой. Компост из-за длительной заготовки содержит меньшее количество токсичных элементов по сравнению со свежим ОСВ, что отразилось на показателях концентрации тяжелых металлов в продукции.

**Заключение.** Таким образом, использование удобрительных смесей на основе осадка сточных вод благоприятно влияет на агрохимические показатели дерново-подзолистой супесчаной почвы, а также повышает уро-





жайность полевых культур. Содержание основных элементов питания в пахотном горизонте почвы находилось в прямой зависимости от доли участия ОСВ в составе смеси. Лучшие результаты отмечены при использовании ОСВ совместно с торфом в соотношении 1:1. К концу проведения эксперимента данный вид удобрительной смеси поддерживал положительный баланс элементов питания. В течение 3 лет содержание минерального азота превышало действие готового компоста на 12,5–32,6 %, подвижного фосфора – на 7,0–32,9 %, обменного калия – на 15,6–18,5 %. Это обстоятельство отразилось и на урожайности изучаемых культур: наибольшая прибавка (37,5%) была получена при внесении ОСВ и торфа (1:1) в варианте с викоовсяной смесью, в вариантах с озимой рожью достигала 9,2%, с яровым ячменем – 10,0 %. Внесение ОСВ в объеме до 30 т/га (смеси с органическими наполнителями в соотношении 1:1) не вызывало избыточного накопления токсичных элементов в зерне озимой ржи и ярового ячменя.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. 2-е перераб. и доп. М.: Изд-во Московского университета, 1970. 489 с.
2. Бойцова Л. В. Динамика агрохимических свойств в профиле дерново-подзолистых почв различного сельскохозяйственного использования // *Агрофизика*. 2016. № 1. С. 1–8.
3. Володина Т. И., Левченкова А. Н. Особенности поведения минерального азота в дерново-подзолистой супесчаной почве под влиянием различных систем удобрения // *Молочнохозяйственный вестник*. 2017. № 2 (26). С. 20–31.
4. ГОСТ 26207-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1991. 7 с.
5. ГОСТ 26951-86. Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1986. 10 с.
6. ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений. М., 2001. 4 с.
7. Завьялова Н. Е., Косолапова А. И., Сторожева А. Н. Влияние возрастающих доз полного минерального удобрения на органическое вещество и азотный режим дерново-подзолистой почвы Предуралья // *Агрохимия*. 2014. № 6. С. 20–28.
8. Иванникова Н. А., Нефедов А. В. Изменение содержания аммиачного и нитратного азота в почве при комплексной мелиорации // *Орошаемое земледелие*. 2018. № 2. С. 25–26.
9. Мадамина М., Абзалов А., Юсупалиева К. Значение применения медленндействующих удобрений в снижении загрязнения окружающей среды // *Научное обозрение*. 2017. № 3. С. 70–79.
10. Пахненко Е. П. Осадки сточных вод и другие нетрадиционные органические удобрения: учеб. пособие. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. 311 с.
11. Пескарев А. А., Яшин И. М., Касатиков В. А. Агрохимические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы при применении удобрений на основе осадка сточных вод // *Плодородие*. 2011. № 1. С. 9–11.
12. Русакова И. В. Биологические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы при длительном использовании соломы на удобрение // *Почвоведение*. 2013. № 12. С. 1485–1493.
13. СанПиН 42-123-4089-86 Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах. М., 1986. 91 с.

## REFERENCES

1. Arinushkina E. V. Guidance on chemical analysis of soils. 2nd revised and add. Moscow; 1970. 489 p. (In Russ.).
2. Boytsova L. V. Dynamics of agrochemical properties in the profile of sod-podzolic soils of various agricultural uses. *Agrophysics*. 2016; 1: 1–8. (In Russ.).
3. Volodina T. I., Levchenkova A. N. Features of the behavior of mineral nitrogen in sod-podzolic sandy loam soil under the influence of various fertilization systems. *Dairy Bulletin*. 2017; 2 (26): 20–31. (In Russ.).
4. GOST 26207-91. Soils. Determination of mobile compounds of phosphorus and potassium by the Kirsanov method modified by TsINAO. Moscow; 1991. 7 p. (In Russ.).
5. GOST 26951-86. Soils. Determination of nitrates by ionometric method. Moscow; 1986. 10 p. (In Russ.).
6. GOST R 17.4.3.07-2001 Nature Conservation. Soils. Requirements for the properties of sewage sludge when used as fertilizer. Moscow; 2001. 4 p. (In Russ.).
7. Zavyalova N. Ye., Kosolapova A. I., Storozheva A. N. Influence of increasing doses of complete mineral fertilization on organic matter and nitrogen regime of sod-podzolic soil in the Cis-Urals. *Agrochemistry*. 2014; 6: 20–28. (In Russ.).
8. Ivannikova N. A., Nefedov A. V. Change in the content of ammonia and nitrate nitrogen in the soil during complex reclamation. *Irrigated agriculture*. 2018; 2: 25–26. (In Russ.).
9. Madaminova M., Abzalov A., Yusupalieva K. The value of using slow-acting fertilizers in reducing environmental pollution. *Scientific Review*. 2017; 3: 70–79. (In Russ.).
10. Pakhnenko E. P. Waste water sediments and other non-traditional organic fertilizers: textbook. allowance. Moscow; 2013. 311 p. (In Russ.).
11. Peskarev A. A., Yashin I. M., Kasatikov V. A. Agrochemical properties of sod-podzolic sandy loam soil when using fertilizers based on sewage sludge. *Fertility*. 2011; 1: 9–11. (In Russ.).
12. Rusakova I. V. Biological properties of sod-podzolic sandy loam soil during long-term use of straw for fertilization. *Soil science*. 2013; 12: 1485–1493. (In Russ.).
13. SanPiN 42-123-4089-86 Maximum permissible concentration of heavy metals and arsenic in food raw materials and food products. Moscow; 1986. 91 p. (In Russ.).

*Статья поступила в редакцию 29.06.2021; одобрена после рецензирования 05.07.2021; принята к публикации 15.07.2021.  
The article was submitted 29.06.2021; approved after reviewing 05.07.2021; accepted for publication 15.07.2021.*