


ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ / AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.5.456-466>



УДК 631.862:631.815.2:631.816.1:633.1

Влияние жидкого свиного навоза на урожайность пшеницы, содержание и баланс элементов питания в светло-серой лесной почве лёгкого гранулометрического состава

© 2019. В. И. Титова , Л. Д. Варламова, Р. Н. Рыбин, Т. В. Андропова
ФГБОУ ВО «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия»,
Нижний Новгород, Российская Федерация

Исследования проведены в производственных условиях Нижегородской области на светло-серых лесных почвах легкого гранулометрического состава на площади 550 га, где в качестве органического удобрения ежегодно в дозах 60 и 90 т/га соответственно используется жидкий свиной навоз (ЖСН) крупного свиноводческого комплекса. Усреднённая характеристика ЖСН: содержание сухого вещества 9,5%, рН 7,7 ед., азота 0,22%, фосфора 0,11 и калия 0,12%. Культуры – озимая и яровая пшеницы сорта Московская 39 и Эстер соответственно. Установлено, что доза ЖСН 60 т/га в среднем за два года исследований обеспечила среднюю урожайность пшеницы на уровне 3,00-3,75 т/га, в дозе 90 т/га – до 4,75 т/га. Окупаемость удобрений в звене севооборота «озимая пшеница → яровая пшеница» при дозе ЖСН 60 т/га составила 5,41 кг зерна в расчете на 1 кг действующего вещества навоза, при дозе 90 т/га – 4,57 кг/кг. Во всех полях сложился положительный баланс элементов питания, но более уравновешенным он был при дозе внесения ЖСН 60 т/га и урожайности 3,0 т/га зерна ежегодно, или при дозе внесения ЖСН 90 т/га и урожайности пшеницы 4,75 т/га. При этом расчётное поступление калия в почву происходит более низкими темпами, чем азота и фосфора. Внесение 120 т ЖСН в сумме за два года на супесчаной и 180 т/га – на легкосуглинистой почве обеспечило повышение содержания подвижных соединений фосфора на 5-22 мг/кг, калия – на 11-30 мг/кг при коэффициентах вариации 28-57% и 21-49% соответственно.

Ключевые слова: жидкая фракция свиного навоза, доза, продуктивность зерновых, плодородие почв, окупаемость

Благодарности: работа выполнена по госбюджетной тематике в соответствии с комплексным тематическим планом научных исследований Нижегородской ГСХА (тема № 0120.0 805769).

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Титова В. И., Варламова Л. Д., Рыбин Р. Н., Андропова Т. В. Влияние жидкого свиного навоза на урожайность пшеницы, содержание и баланс элементов питания в светло-серой лесной почве лёгкого гранулометрического состава. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019;20(5):456-466. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.5.456-466>

Поступила: 24.07.2019

Принята к публикации: 04.09.2019

Опубликована онлайн: 18.10.2019

The effect of liquid pig manure on the wheat yield, content and balance of nutrients in light-gray forest soil with light particle-size composition

© 2019. Vera I. Titova , Larisa D. Varlamova, Roman N. Rybin,
Tatyana V. Andronova

Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russian Federation

The research has been carried out under production conditions on light gray forest soils with light particle-size composition at an area of 550 hectares where liquid pig manure (LPM) of a large pig breeding complex is annually used as an organic fertilizer at doses of 60 and 90 t/ha. The average characteristics of LPM are as follows: dry matter content is 9.5%, pH 7.7 units, nitrogen 0.22%, phosphorus 0.11%, and potassium 0.12%. The cultivated grain crops were presented by winter and spring wheat varieties, Moskovskaya 39 and Esther, respectively. It has been established that at the dose of 60 t/ha LPM for two years of research at an average a mean wheat yield was 3.0-3.75 t/ha, and at the dose of 90 t/ha - up to 4.75 t/ha. The return on investments for fertilizers in the "winter wheat → spring wheat" crop rotation link at the dose of 60 t/ha of LPM was 5.41 kg of grain per 1 kg of active substance of manure, at the dose of 90 t/ha - 4.57 kg / kg. A positive balance of nutritional elements developed on all fields, but it was better balanced when the dose of LPM was 60 t/ha and the yield was 3.0 t/ha of grain annually, or when the LPM dose was 90 t/ha and the yield of wheat was 4.75 t/ha. In this case, the estimated potassium supply of soil occurs at a lower rate than that of nitrogen and phosphorus. The application of 120 t of LPM during two years in total on loamy sand and of 180 t/ha on light loamy soil provided an increase in the content of mobile phosphorus compounds by 5-22 mg/kg, and potassium - by 11-30 mg/kg with a variation coefficient of 28-57% and 21-49%, respectively.

Keywords: liquid fraction of pig manure, dose, productivity of grain crops, soil fertility, return of investments

Acknowledgement: the work was done on state budget topics in accordance with the comprehensive thematic research plan of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy (state registration number of the theme 0120.0 805769).

Conflict of interest: the authors stated that there was no conflict of interest.

For citation: Titova V. I., Varlamova L. D., Rybin R. N., Andronova T. V. The effect of liquid pig manure on the wheat yield, the content and balance of nutrients in light-gray forest soil with light particle-size composition. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2019;20(5):456-466. (In Russ.). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.5.456-466>

Received: 24.07.2019

Accepted for publication: 04.09.2019.

Published online: 18.10.2019

Известно, что качественное состояние почв сельскохозяйственного назначения зависит от целого ряда факторов как природных, связанных с особенностями почвообразования, так и антропогенных, определяемых набором возделываемых культур и их урожайностью, способом обработки почвы, количеством и составом используемых агрохимикатов, включая органические и минеральные удобрения. Именно органические удобрения рассматривают как ведущий фактор устойчивого развития экологически сбалансированных адаптивно-ландшафтных систем земледелия [1]. Внесение этих удобрений позволяет реутилизировать элементы, отчуждаемые из почвы и вносимых минеральных удобрений растениями; улучшить физические, физико-химические и биологические свойства почв; увеличить продуцирование диоксида углерода, повышая тем самым эффективность фотосинтеза растений [2].

Следует отметить, что по мере развития животноводческой отрасли существенно менялся перечень основных используемых в сельском хозяйстве органических удобрений и, соответственно, их состав и удобрительная ценность. В настоящее время в практике земледелия преобладают бесподстилочные формы навоза, свойства которых определяются видом и возрастом животных, качеством и количеством кормов, технологическими особенностями их получения и хранения [3, 4]. При этом особенно активно развивается отрасль свиноводства, а Нижегородская область в этом вопросе занимает ведущие позиции.

Несмотря на экологические проблемы, возникающие при утилизации органосодержащих отходов [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13], наблюдения, проводимые непосредственно в хозяйствах, показывают, что применение свиного навоза может существенно повышать урожайность сельскохозяйственных культур [13, 14, 15, 16], а также характеристики почвы, определяющие её плодородие. Среди последних чаще всего отмечают положительное влияние навоза на основные агрохимические показатели почв и повышение их устойчивости к загрязнению тяжёлыми металлами [9, 10, 14, 17, 18, 19], что в сильной степени зависит

от исходной характеристики почв и органического удобрения.

Цель исследований – оценка влияния разных доз жидкой фракции свиного навоза (ЖСН) на содержание подвижных соединений фосфора и калия в почве и урожайность пшеницы.

В задачи исследования в этой связи входило определение содержания подвижного фосфора и калия в светло-серой лесной почве легкого гранулометрического состава при внесении ЖСН в дозах 60 и 90 т/га, расчет баланса этих элементов и окупаемости разных доз ЖСН прибавкой урожая озимой и яровой пшениц.

Материал и методы. Исследования проведены на базе промышленного свиноводческого комплекса, работающего с 2016 года. В соответствии с технологией содержания животных на предприятии образуется бесподстилочный навоз, который в дальнейшем разделяется на твердую фракцию свиного навоза (ТСН) и жидкую (ЖСН), на которую приходится основная масса отходов. ТСН в хозяйстве используют ограниченно, в том числе на арендуемых землях. Жидкую фракцию навоза после хранения в лагунах по системе трубопроводов, с использованием дополнительных перекачивающих насосов, распределяют по полям и вносят в почву с использованием техники марки «Agrometer». Усреднённая характеристика ЖСН: содержание сухого вещества 9,5%, рН 7,7 ед., содержание азота 0,22%, фосфора 0,11 и калия 0,12%.

Для оценки влияния утилизации свиного навоза на продуктивность сельскохозяйственных культур и основные агрохимические показатели почвы были выбраны несколько полей, различающихся между собой по дозам внесения жидкого свиного навоза, а также по гранулометрическому составу почв. В полях 103 и 105 (площадь полей 55 и 175 га соответственно) жидкую фракцию навоза вносили в дозе 60 т/га/год; в полях 104 и 107 (площадь полей 100 и 90 га) – в дозе 90 т/га/год. Почва светло-серая лесная, в полях 103, 104 и 105 – супесчаная, в поле 107 – легкосуглинистая. Агрохимическая характеристика полей приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Агрохимическая характеристика полей и уровень действительно возможного урожая (ДВУ) озимой и яровой пшеницы за счет почвенного плодородия /

Table 1 – Agrochemical characteristics of the fields and the level of the truly possible yield (TLY) of winter and spring wheat due to soil fertility

№ поля / № field	Агрохимические показатели / Agrochemical indicators				ДВУ для озимой пшеницы, т/га / the level of the truly possible yield (TLY) of winter wheat, t/ha			ДВУ для яровой пшеницы, т/га / the level of the truly possible yield (TLY) of spring wheat, t/ha		
	pH _{kcl}	гумус, % / humus, %	P ₂ O ₅	K ₂ O	N _{мин} / N _{mineral}	P ₂ O ₅	K ₂ O	N _{мин} / N _{mineral}	P ₂ O ₅	K ₂ O
103	5,4	1,30	66	110	0,650	1,485	2,200	0,609	1,188	1,359
105	5,2	2,00	106	121	1,000	1,590	2,420	0,937	1,272	1,495
104	5,1	1,95	105	69	0,975	1,575	1,656	0,914	1,260	0,974
Среднее* / Average value	5,2	1,87	99	103	0,932	1,568	2,150	0,871	1,250	1,311
107	5,0	2,20	111	135	1,100	1,665	2,700	1,030	1,332	1,668

* Средневзвешенное значение с учетом площади поля для супесчаных почв / average value taking into account the area of the field for sandy soils

Отбор почвенных проб проводили 5 сентября 2018 г. в соответствии с ГОСТ 28168-89, содержание в почве подвижных соединений фосфора и калия определяли по ГОСТ Р 54650-2011. Результаты анализов обработаны методом вариационной статистики с определением размаха варьирования, ошибки средней арифметической и коэффициента вариации признака, а также средневзвешенного значения¹. Для оценки количественного изменения анализируемых агрохимических показателей под воздействием ЖСН использовали результаты агрохимического обследования почв, проведенного

в 2012 г. В период до 2016 г. на указанных участках удобрения не вносили, известкование не проводили, поля не обрабатывались.

Результаты и их обсуждение. Одним из основных факторов оценки эффективности применения удобрений является уровень урожайности возделываемых культур, поскольку главная, хотя и не единственная цель использования удобрительных материалов – повышение продуктивности посевов. Сведения по урожайности культур и количеству внесённого органического удобрения (ЖСН) в анализируемых полях приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Сведения по внесению удобрений и урожайности культур /

Table 2 – Information on the use of fertilizers and crop yields

№ поля / № field	2017 г.			2018 г.		
	культура / crop	урожайность, т/га / product- ivity, t/ha	доза навоза, т/га / manure dose, t/ha	культура / crop	урожайность, т/га / product- ivity, t/ha	доза навоза, т/га / manure dose, t/ha
103	Озимая пшеница / Winter wheat	3,0	60	Озимая пшеница / Winter wheat	3,0	60
105	Озимая пшеница / Winter wheat	3,5	60	Яровая пшеница / Spring wheat	4,0	60
104	Озимая пшеница / Winter wheat	3,0	90	Озимая пшеница / Winter wheat	3,0	90
107	Озимая пшеница / Winter wheat	4,5	90	Яровая пшеница / Spring wheat	5,0	90

¹Дмитриев Е. А. Математическая статистика в почвоведении. М.: Изд-во МГУ, 1995. 320 с.

Как следует из данных таблицы 2, в 2017 году во всех полях выращивали озимую пшеницу сорта Московская 39, урожайность которой колебалась в пределах 3,0-4,5 т/га. Отмечено, что урожайность определялась не только количеством внесенного удобрения, но и свойствами самой почвы. Так, в полях 103 и 104 она была одинаковой (3,0 т/га) при дозах, различающихся в 1,5 раза; для дозы 60 т/га разница в уровне урожайности культуры в полях 103 и 105 составила 0,5 т/га, а для дозы 90 т/га (поля 104 и 107) – 1,5 т/га. В 2018 году озимую пшеницу выращивали в полях 103 и 104, урожайность её осталась на уровне предыдущего года – в пределах 3,0 т/га. В полях 105 и 107 возделывали яровую пшеницу сорта Эстер, урожайность которой значительно превысила урожайность озимой пшеницы. Повышение дозы ЖСН с 60 до 90 т/га обеспечило увеличение выхода товарной продукции данной культуры на 25%.

Учитывая, что в производственных условиях контрольного варианта (поля без применения удобрений) нет, за величину, которая могла бы характеризовать потенциальную возможность почв к созданию урожая, взята величина действительно возможного уровня урожайности. Он рассчитан с учетом усредненных коэффициентов использования элементов питания из почвы² для озимой и яровой пшениц (табл. 1) по данным агрохимической характеристики почвы на 2012 год.

Принимая во внимание агрохимические показатели, можно констатировать, что светло-серые лесные почвы характеризуются невысоким естественным плодородием. Содержание гумуса в среднем по полям с супесчаной почвой составляет 1,87%, а в поле 107 (легкосуглинистая почва) – 2,2%. По содержанию подвижных соединений фосфора и калия супесчаная почва характеризуется как среднеобеспеченная, а легкосуглинистая почва имеет повышенную обеспеченность этими элементами. При сельскохозяйственном использовании таких почв без должной компенсации выносимых растениями элементов постепенно будет происходить истощение почв, сопровождающееся снижением урожайности возделываемых культур.

Как показали наши расчёты, без дотаций извне урожайность озимой пшеницы на супесчаной почве не превысит 0,93 т/га, а яровой пшеницы – 0,87 т/га при лимитировании получения товарной продукции именно азотом.

В случае повышения содержания минеральных форм азота, что в период вегетации культуры весьма вероятно за счет активизации микробиологических процессов, расчетная действительно возможная урожайность озимой пшеницы на супесчаной почве может достичь величины 1,57-2,15 т/га, а яровой – 1,25-1,31 т/га. Урожайность зерна на легкосуглинистой светло-серой лесной почве может быть несколько выше – 1,67-2,70 т/га по озимой и 1,33-1,67 т/га по яровой пшенице. При этом в реальных условиях производства влияние на синтез зерна будут оказывать и другие условия, и факторы. Например, по свидетельству В. В. Конончука с соавт. [20], на получение урожая положительно влияет появление новых сортов культурных растений и общее повышение технологической дисциплины, что, безусловно, актуально и для условий хозяйства, анализируемого в данной статье.

Агрономическую эффективность использования удобрений в сельскохозяйственном производстве обычно оценивают по прибавке урожая, полученной за счет внесения удобрений. При этом расчеты можно вести как на физическую массу внесенных удобрений (применительно к органическим удобрениям), так и в расчете на единицу элементов питания, внесенных с удобрениями (прибавка урожая в расчете на 1 кг NPK в составе органического удобрения). Результаты расчетов окупаемости питательных веществ ЖСН урожаем возделываемых культур в среднем за 2 года приведены в таблице 3.

При расчете прибавки урожая от внесенного ЖСН использовали сведения по долевого участию удобрений в формировании прибавки, которым обычно пользуются в подобных случаях для производственных условий³. Исходя из вида возделываемых культур, долевого участия удобрений в формировании урожая принято равным 34% от средней урожайности в полях 103 и 104 (озимая пшеница в оба года исследований) и 39% в полях 105 и 107 (озимая пшеница в 2017 г., яровая пшеница в 2018 г.). Это сопоставимо с опубликованными в открытой печати данными. По свидетельству китайских ученых [21], вклад химических удобрений в увеличение сельскохозяйственной продукции оценивается в 32-50%. Здесь же следует отметить, что при внесении NPK в количестве более чем 205 кг/га для озимой пшеницы и 220 кг/га – для яровой, нормативная окупаемость 1 кг питательных веществ составляет 4,2 кг зерна⁴.

²Справочник агронома-эколога. Нижний Новгород: НГСХА, Нижегородский НИИСХ РАСХН, 2012. 75 с.

³Там же. С. 53-54

⁴Справочник агронома-эколога. 2012. С. 53

Таблица 3 – Окупаемость удобрений прибавкой урожая культур, среднее за 2017-2018 гг. /
 Table 3 – Fertilizer payback by crop yield increase, average value for 2017-2018

№ поля / № field	Доза внесения удобрений / Dose of fertilizer application					Урожайность / productivity		Оплата NPK прибавкой урожая, кг/кг / Payment of NPK in yield increase, kg/kg
	ЖСН, т/га / liquid pig manure, t/ha	N	P	K	NPK	среднее, т/га / average, t/ha	прибавка от удобрений, кг/га / the increase from the fertilizers, kg/ha	
		в действ. в-ве, кг/га / in the active substance, кг/ha						
103	60	132	66	72	270	3,00	1020	3,78
105	60	132	66	72	270	3,75	1462	5,41
104	90	198	99	108	405	3,00	1020	2,52
107	90	198	99	108	405	4,75	1852	4,57

Расчеты показали, что оплата питательных веществ, внесенных с фактической дозой ЖСН, прибавкой урожая сельскохозяйственных культур существенно варьировала. В среднем за два года большая отдача получена в звене озимая пшеница→яровая пшеница: при дозе 60 т/га она составила 5,41 кг/кг д. в., при дозе 90 т/га – 4,57 кг/кг д. в., что сопоставимо с отмечаемыми в литературе [22]. Таким образом, с агрономической точки зрения на светло-серых лесных почвах легкого гранулометрического состава эффективным будет внесение жидкого свиного навоза дозой 60 т/га, обеспечивающее получение урожайности зерновых культур не ниже 3,75 т/га, а при использовании ЖСН в дозе 90 т/га – 4,75 т/га пшеницы.

Как в экологическом отношении, так и с позиций агрохимии, очень важным является учёт баланса элементов питания, который складывается в каждом поле после уборки полученного урожая. В хозяйстве подобные расчёты делают с использованием нормативных (справочных) данных по удельному выносу элементов питания⁵ и данных по количеству элементов, внесённых с фактической дозой свиного навоза.

Как следует из расчетов (табл. 4), за период 2017-2018 гг. во всех полях сложился положительный баланс элементов питания. Согласно расчётам, накопление элементов в почве повышается с увеличением дозы удобрения, т. е. внесение 90 т/га ЖСН теоретически обеспечило более интенсивный баланс, чем использование 60 т/га за счёт большего поступления в почву NPK. В то же время, уровень уро-

жайности определяет количество отчуждаемых из почвы элементов, поэтому с повышением выхода продукции интенсивность баланса снижается. Максимальное накопление основных элементов питания происходило в почве поля 104, где при внесении ЖСН в дозе 90 т/га оба года выращивали озимую пшеницу с ежегодной урожайностью 3,0 т/га. Минимальный положительный баланс отмечен в поле 105, где получены достаточно высокие урожаи озимой (2017 г.) и яровой (2018 г.) пшениц при сравнительно низкой дозе внесения жидкого свиного навоза 60 т/га. Более уравновешенным можно считать баланс элементов питания, складывающийся в поле 103 (доза внесения ЖСН 60 т/га, урожайность по 3,0 т/га зерна ежегодно) и поле 107 (урожайность 4,75 т/га в среднем за год при дозе внесения ЖСН 90 т/га). Следует также отметить, что расчётное поступление в почву калия происходит более низкими темпами, чем азота, поскольку внесение K₂O в составе ЖСН в 1,8 раза меньше, чем азота и фосфора, что связано с более активным отчуждением культурами калия по сравнению с P₂O₅.

Теоретические расчёты, основанные на балансе элементов в почве и потребности в удобрениях для повышения запаса подвижных соединений фосфора и калия на определённую величину⁶, позволили определить возможный прирост их содержания в почве. Так, содержание фосфора в почве полей 103 (супесчаная) и 107 (легкосуглинистая) может возрасти на 10-12 мг/кг, в поле 105 – на 7-8 мг/кг, в поле 104 – на 20-21 мг/кг; для калия эти цифры соответственно составят 9-10, 3-4 и 19-25 мг/кг.

⁵Там же. С. 11-13

⁶Там же. С. 28

Таблица 4 – Баланс элементов питания в почве, кг/га (в сумме за период 2017-2018 гг.) /
Table 4 – The balance of nutrients in the soil, kg/ha (in total for the period 2017-2018)

№ поля / № field	Внесено / Introduced			Вынос / Removal			Баланс / Balance		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
103	264	132	144	180	48	78	84	84	66
105	264	132	144	249	73	122	15	59	22
104	396	198	217	180	48	78	216	150	138
107	396	198	217	295	86	144	101	112	72

Оценивая фактическое изменение содержания подвижных форм фосфора и калия, следует учитывать, что почвы анализируемых участков характеризуются легким гранулометрическим составом (преимущественно супесчаные), что делает возможным активное перераспределение калия по почвенному профилю, в то время как фосфор будет преимущественно аккумулироваться в пахотном слое. Однако, отличаясь высокой способностью к химическому закреплению в почвах, особенно кислых, накопление подвижных форм фосфора фактически должно быть более низким.

Анализируя данные по содержанию фосфора в почве, отмечаем существенное его варьирование как по полям, так и в рамках конкретного поля (табл. 5). Результаты анали-

за почвенных проб свидетельствуют, что внесение жидкой фракции свиного навоза в сумме за 2 года в количестве 120 т/га обеспечило в поле 103 повышение концентрации подвижного фосфора на 5 мг/кг почвы, что в 2 раза ниже расчётной величины. В то же время в поле 105 содержание P₂O₅ повысилось на 22 мг/кг к уровню 2012 года (21%), что выше расчётной величины в 3 раза. Однако коэффициент вариации показателя «содержание подвижного фосфора в почве» и ошибка средней арифметической в этом поле очень высоки (57%). Это свидетельствует о ярко выраженной нестабильности фосфатного состояния почвы, причиной чего могла стать неравномерность распределения органического удобрения по поверхности почвы [23].

Таблица 5 – Динамика содержания подвижных форм фосфора в почве, мг/кг /
Table 5 – The dynamics of the content of mobile forms of phosphorus in the soil, mg/kg

№ поля / № field	ЖСН, т/га / liquid pig manure, t/ha	2012 г.	2018 г.		
			M±m	lim	V, %
103	120	66	71±32	44-86	28
105	120	106	128±46	44-284	57
104	180	105	103±39	58-165	36
107	180	111	125±38	71-201	36
Средневзвешенное / average value		101	114	-	-

Примечания: для табл. 5 и 6: общий объем выборки (n) в 2018 г. равен 45 объединенным образцам, что составляет 8, 18, 10 и 9 образцов соответственно для полей 103, 105, 104 и 107 /
 Note for table 5 and 6: the total sample size (n) in 2018 equals to 45 combined samples, which is 8, 18, 10 and 9 samples for fields 103, 105, 104 and 107, respectively

Внесение ЖСН в количестве 180 т/га (в сумме за 2 года) также неоднозначно сказалось на изменении содержания подвижных фосфатов в почве. Так, в поле 104 содержание доступного растениям фосфора осталось на исходном уровне, хотя в соответствии с балансом и теоретическим расчётом возможного его изменения, именно в этом поле должно было

наблюдаться максимальное увеличение концентрации P₂O₅. В то же время, в поле 107 прирост содержания подвижных фосфатов составил 14 мг/кг (13% к исходному содержанию фосфора в почве), находясь на уровне расчётного (10-12 мг/кг) повышения. Одной из причин столь разного действия ЖСН на содержание подвижного фосфора в почве является

гранулометрический состав почв этих полей (в поле 104 – супесчаный гранулометрический состав, в поле 107 – легкосуглинистый) и, соответственно, характеристика почвенного поглощающего комплекса. Так, в условиях супесчаной почвы при высокой дозе ЖСН (90 т/га) возможна миграция подвижного фосфора по профилю вплоть до 25-30 см и глубже.

Изменения содержания в почве доступного растениям калия были более значимыми, чем изменения концентрации фосфора

(табл. 6). Согласно полученным данным, содержание подвижных соединений калия при внесении ЖСН в количестве 120 т/га в поле 103 повысилось на 11 мг/кг, что практически соответствует теоретическим расчётам, а в поле 105 – на 29 мг/кг (31% к показателю 2012 года), что существенно превышает теоретические расчёты. При этом следует отметить и тот факт, что степень пространственной неоднородности по данному показателю в поле 105 существенно выше, чем в поле 103.

Таблица 6 – Динамика содержания подвижных форм калия в почве, мг/кг/

Table 6 – The dynamics of the content of mobile forms of potassium in the soil, mg/kg

№ поля / № field	ЖСН, т/га / liquid pig manure, t/ha	2012 г.	2018 г.		
			<i>M±m</i>	<i>lim</i>	<i>V, %</i>
103	120	99	110±37	87-142	21
105	120	92	121±28	58-207	36
104	180	77	69±34	29-108	47
107	180	105	135±56	77-272	49
Средневзвешенное / Average value		92	110	-	-

Внесение ЖСН в количестве 180 т/га (по 90 т/га в течение двух лет) по-разному сказалось на содержании подвижного калия в почве. Так, в поле 104 содержание K_2O стало ниже величины 2012 года на 8 мг/кг, или 10%, хотя расчётный баланс калия в почве положительный, причём более интенсивный, чем в остальных полях. В то же время, в почве поля 107 количество доступного растениям калия, напротив, возросло на 30 мг/кг (29% к показателю 2012 года), что в 3 раза больше расчётной величины. Оценивая полученные результаты, следует учитывать различия между этими полями (104 и 107). Они состоят в гранулометрическом составе почв (супесчаные и легкосуглинистые соответственно) и урожайности культур, выращиваемых в данных полях. Учитывая, что в более тяжёлых почвах ёмкость поглощения выше, большее количество калия могло перейти в ППК, сохраняясь в пахотном слое, тогда как для супесчаной почвы вероятность вымывания в низлежащие слои более выражена. Кроме того, в поле 104 в 2018 году возделывалась озимая пшеница, а в поле 107 – яровая пшеница с урожайностью зерна 3,0 и 5,0 т/га соответственно. Естественно, что масса измельченной соломы после уборки этих культур, оставшаяся в поле, была разной. Учитывая высокое содержание калия именно в побочной

продукции зерновых культур, можно предположить, что в поле 107 в почву из растительных остатков поступило в 1,5 раза большее количество калия, чем в почву поля 104.

Нельзя не отметить для этих полей и очень высокую вариабельность в содержании подвижного калия, приближающуюся в данном случае к 50%, дополнительно свидетельствующую о пестроте поля в обеспеченности калием, что могло быть следствием именно неравномерности распределения соломы по поверхности почвы при уборке зерновых. То есть, фактическое содержание доступных растениям соединений калия в пахотном слое почвы будет определяться не только дозой удобрения, но и видом возделываемых культур, их урожайностью, соотношением основной и побочной продукции, влияющих на соотношение между отчуждением и возвратом элементов в почву, а также гранулометрическим составом почв, определяющим возможность миграции по профилю и/или закрепления элементов в верхнем слое.

Выводы.

1. Действительно возможная урожайность озимой пшеницы, рассчитанная по запасам основных элементов питания в светлосерой лесной почве, составила 0,93 т/га для супесчаной разновидности и 1,10 т/га для лег-

косуглинистой почвы, при лимитировании получения товарной продукции азотом.

2. Применение жидкой фракции свиного навоза (содержание сухих веществ 9,5%) крупного свиного комплекса в дозе 60 т/га в среднем за два года исследований позволяет сформировать урожайность пшеницы на уровне 3,0-3,75 т/га, в дозе 90 т/га – до 4,75 т/га. Окупаемость удобрений при дозе навоза 60 т/га составила 5,41 кг, при дозе 90 т/га – 4,57 кг зерна в расчете на 1 кг действующего вещества навоза.

3. Насыщенность жидким свиным навозом 75 т/га в звене севооборота «озимая пшеница → яровая пшеница» обеспечивает безде-

фицитный баланс основных элементов питания, интенсивность которого повышается с увеличением дозы удобрения и снижается по мере роста урожайности. Однако более уравновешенным баланс был при дозе внесения ЖСН 60 т/га и урожайности 3,0 т/га зерна ежегодно, а также при дозе внесения ЖСН 90 т/га и урожайности пшеницы 4,75 т/га.

4. Внесение 120 т ЖСН в сумме за два года на супесчаной и 180 т/га – на легкосуглинистой почвах обеспечило повышение содержания подвижных соединений фосфора на 5-22 мг/кг, калия – на 11-30 мг/кг при коэффициенте вариации 28-57 и 21-49% соответственно.

Список литературы

1. Чекмарёв П. А., Родионов В. Я., Лукин С. В. Опыт использования органических удобрений в Белгородской области. Достижения науки и техники АПК. 2011;(2):3-5. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/opyt-ispolzovaniya-organicheskikh-udobreniy-v-belgorodskoy-oblasti>
2. Попов П. Д. ВНИПТИОУ – история создания и первый этап научно-исследовательской деятельности. Использование органических удобрений и биоресурсов в современном земледелии. М.: РАСХН-ВНИПТИОУ, 2002. С. 27-39.
3. Мерзлая Г. Е., Щеголева И. В., Леонов М. В. Использование свиного навоза для удобрения сельскохозяйственных культур. Перспективное свиноводство: теория и практика. 2012;(6):3-9. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18354401>
4. Velthof Gerard L., Nelemans Jaap A., Oenema Oene, Kuikman Peter J. Gaseous nitrogen and carbon losses from pig manure derived from different diets. Journal of Environmental Quality. 2005;34(2):698-706. URL: <https://www.pubfacts.com/detail/15758122/Gaseous-nitrogen-and-carbon-losses-from-pig-manure-derived-from-different-diets>
5. Тютюнов С. И., Соловиченко В. Д., Навольнева Е. В. Использование свиных стоков в качестве органических удобрений. Международный научно-исследовательский журнал. 2015;(10-3(41)):76-79. DOI: <https://doi.org/10.18454/IRJ.2015.41.028>
6. Новицкий И. Промышленное свиноводство и окружающая среда. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://xn--80ajgpcpbhks4a4g.xn--p1ai/articles/promyshlennoe-svinovodstvo-i-okruzhayu/> (дата обращения: 4.07.2016).
7. Домашенко Ю. Е., Суржко О. А. Ресурсо-экологические аспекты снижения воздействия на природную среду животноводческих отходов. Окружающая среда и здоровье: сб. статей IV Всероссийской научно-практической конференции. Пенза, 2007. С. 74-76.
8. Брюханов А. Ю., Васильев Э. В., Шалавина Е. В. Проблемы обеспечения экологической безопасности животноводства и лучшие доступные методы их решения. Региональная экология. 2017;(1(47)):37-43. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29392588>
9. Титова В. И., Караксин В. Б., Гейгер Е. Ю. Промышленное свиноводство и экология: проблемы существования. Н. Новгород: Изд-во ВВАГС, 2003. 201 с.
10. Дабахова Е. В., Титова В. И., Гейгер Е. Ю., Корченкина Н. А. Оценка воздействия утилизации отходов на состояние агроэкосистемы и проблемы нормирования. Агрохимический вестник. 2011;(2):13-15. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16218533>
11. Шалавина Е. В., Васильев Э. В. Экологические проблемы отрасли свиноводства в России. Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2017;(92):166-175. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30258923>
12. Vu T. K. V., Tran M. T., Dang T. T. S. A survey of manure management on pig farms in Northern Vietnam. Livestock Science. 2007;112(3):288-297. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.09.008>
13. Shen Yujun, Pengyue Zhang, Lixin Zhao, Haibo Meng, Hongsheng Cheng Component analysis of volatile organic compounds and determination of key odor in pig manure aerobic fermentation process. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. 2016;32(4):205-210. URL: <https://www.ingentaconnect.com/content/tcsae/tcsae/2016/00000032/00000004/art00029;jsessionid=gajd0e7ctngpe.x-ic-live-01>

14. Барановский И. Н., Бабенко М. В. Влияние фракций свиного навоза на питательный режим дерново-подзолистой почвы и продуктивность зернотравяного звена севооборота. Вестник Тверского государственного университета. Серия: Химия. 2014;(2):С. 40-48. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21691464>
15. Шишов А. Д., Николаева Т. А., Гришанов С. Л. Агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы при применении бесподстильного свиного навоза. Плодородие. 2010;(4 (55)):33-34. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15206387>
16. Варламова Л. Д. Сравнительная агрономическая оценка разных форм свиного навоза. Агрохимия и экология: история и современность: материалы Междунар. научн.-практ. конф. Т. 2. Н. Новгород, 2008. С. 69-72.
17. Барановский И. Н., Павлоцкий А. В. Влияние бесподстильного навоза и помёта гумусовый режим дерново-подзолистой почвы и её продуктивность. Плодородие. 2010;(6(57)):12-14. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15320667>
18. Rotkittikhun P., Chaityarat R., Kruatrachue M., Pokethitiyook P., Baker A J M. Growth and lead accumulation by the grasses *Vetiveria zizanioides* and *Thysanolaena maxima* in lead-contaminated soil amended with pig manure and fertilizer: A glasshouse study. Chemosphere. 2007;66(1):45-53. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.05.038>
19. Шишов А. Д., Николаева Т. А., Гришанов С. Л. Влияние бесподстильного свиного навоза на урожайность зелёной массы ячменя в условиях Новгородской области. Фундаментальные исследования. 2011;(4):66-69. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15594761>
20. Конончук В. В., Штырхунов В. Д., Назарова Т. О., Тимошенко С. М., Соболев С. В. Величины оптимальной обеспеченности зерновых культур азотным питанием и затраты азота удобрений на их формирование в центре Нечерноземной зоны России. Агрохимия. 2018;(11):33-42. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36429696>
21. Liu J., Diamond J. China's environment in a globalization world. Nature. 2005. Vol. 435. pp. 1179-1186.
22. Окорков В. В., Фенова О. А., Окоркова Л. А. Удобрение и продуктивность севооборотов на серых лесных почвах Верхневолжья. Агрохимия. 2018;(2):56-70. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32656266>
23. Иванов А. И., Конашенков А. А. Агроэкологические последствия неравномерного внесения навоза в овощном севообороте. Агрохимия. 2012;(6):66-72. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17868491>

References

1. Chekmarev P. A., Rodionov V. Ya., Lukin S. V. *Opyt ispol'zovaniya organicheskikh udobreniy v Belgorodskoy oblasti*. [Experience in the use of organic fertilizers in the Belgorod region]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2011;(2):3-5. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/opyt-ispolzovaniya-organicheskikh-udobreniy-v-belgorodskoy-oblasti>
2. Popov P. D. *VNIPTIOU – istoriya sozdaniya i pervyy etap nauchno-issledovatel'skoy deyatel'nosti. Ispol'zovanie organicheskikh udobreniy i bioresursov v sovremennom zemledelii*. [VNIPTIOU-the history of creation and the first stage of research activities. Use of organic fertilizers and bioresources in modern agriculture]. Moscow: RASKhN-VNIPTIOU, 2002. pp. 27-39.
3. Merzlaya G. E., Shchegoleva I. V., Leonov M. V. *Ispol'zovanie svinogo navoza dlya udobreniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur*. [The use of pig manure for fertilizing crops]. *Perspektivnoe svinovodstvo: teoriya i praktika*. 2012;(6):3-9. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18354401>
4. Velthof Gerard L., Nelemans Jaap A., Oenema Oene, Kuikman Peter J. Gaseous nitrogen and carbon losses from pig manure derived from different diets. Journal of Environmental Quality. 2005;34(2):698-706. URL: <https://www.pubfacts.com/detail/15758122/Gaseous-nitrogen-and-carbon-losses-from-pig-manure-derived-from-different-diets>
5. Tyutyunov S. I., Solovichenko V. D., Navol'neva E. V. *Ispol'zovanie svinykh stokov v kachestve organicheskikh udobreniy*. [Use of swine effluents as organic fertilizers]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal = International Research Journal*. 2015;(10-3(41)):76-79. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18454/IRJ.2015.41.028>
6. Novitskiy I. *Promyshlennoe svinovodstvo i okruzhayushchaya sreda*. [Industrial pig farming and environment]. URL: <https://xn--80ajgpcpbhks4a4g.xn--p1ai/articles/promyshlennoe-svinovodstvo-i-okruzhayu/> (accessed: 4.07.2016).
7. Domashenko Yu. E., Surzhko O. A. *Resurso-ekologicheskie aspekty snizheniya vozdeystviya na prirodnuyu sredu zhivotnovodcheskikh otkhodov*. [Resource and environmental aspects of reducing the impact on the natural environment of livestock waste]. *Okruzhayushchaya sreda i zdorov'e: sb. statey IV Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. [Environment and health: collection of articles of the 4th All-Russian scientific and practical Conference]. Penza, 2007. pp. 74-76.

8. Bryukhanov A. Yu., Vasil'ev E. V., Shalavina E. V. *Problemy obespecheniya ekologicheskoy bezopasnosti zhivotnovodstva i luchshie dostupnye metody ikh resheniya*. [Problems of ensuring ecological safety of animal husbandry and the best available methods of their solution]. *Regional'naya ekologiya* = Regional Ecology. 2017;(1(47)):37-43. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29392588>
9. Titova V. I., Karaksin V. B., Geyger E. Yu. *Promyshlennoe svinovodstvo i ekologiya: problemy sosushchestvovaniya*. [Industrial pig farming and ecology: problems of coexistence]. Nizhny Novgorod: *Izd-vo VVAGS*, 2003. 201 p.
10. Dabakhova E. V., Titova V. I., Geyger E. Yu., Korchenkina N. A. *Otsenka vozdeystviya utilizatsii otkhodov na sostoyanie agroekosistemy i problemy normirovaniya*. [Assessment of the impact of waste disposal on the state of agroecosystem and problems of rationing]. *Agrokhimicheskiy vestnik* = Agrochemical Herald. 2011;(2):13-15. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16218533>
11. Shalavina E. V., Vasil'ev E. V. *Ekologicheskie problemy otrasli svinovodstva v Rossii*. [Environmental problems of pig industry in Russia]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktov rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2017;(92):166-175. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30258923>
12. Vu T. K. V., Tran M. T., Dang T. T. S. A survey of manure management on pig farms in Northern Vietnam. *Livestock Science*. 2007;112(3):288-297. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.09.008>
13. Shen Yujun, Pengyue Zhang, Lixin Zhao, Haibo Meng, Hongsheng Cheng Component analysis of volatile organic compounds and determination of key odor in pig manure aerobic fermentation process. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2016;32(4):205-210. URL: <https://www.ingentaconnect.com/content/tcsae/tcsae/2016/00000032/00000004/art00029;jsessionid=gajd0e7ctngpe.x-ic-live-01>
14. Baranovskiy I. N., Babenko M. V. *Vliyanie fraktsiy svinogo navoza na pitatel'nyy rezhim dernovo-podzolistoy pochvy i produktivnost' zernotravyanogo zvena sevooborota*. [Influence of pig manure fractions on the nutrient regime of sod-podzolic soil and productivity of grain-grass crop rotation link]. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya* = Bulletin of the Tver State University. Series: Chemistry. 2014;(2):S. 40-48. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21691464>
15. Shishov A. D., Nikolaeva T. A., Grishanov S. L. *Agrokhimicheskie svoystva dernovo-podzolistoy pochvy pri primenении bespodstilochnogo svinogo navoza*. [Agrochemical properties of sod-podzolic soil upon application of liquid swine manure]. *Plodorodie*. 2010;(4 (55)):33-34. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15206387>
16. Varlamova L. D. *Sravnitel'naya agronomicheskaya otsenka raznykh form svinogo navoza*. [Comparative agronomic assessment of different forms of pig manure]. *Agrokhiimiya i ekologiya: istoriya i sovremennost': materialy Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf.* [Agrochemistry and ecology: history and modernity: Proceedings of International scientific and practical Conference.]. Vol.2. Nizhny Novgorod, 2008. pp. 69-72.
17. Baranovskiy I. N., Pavlotskiy A. V. *Vliyanie bespodstilochnogo navoza i pometa gumusovyy rezhim dernovo-podzolistoy pochvy i ee produktivnost'*. [Influence of unstitched manure and litter humus regime of sodpodzolic soil and its productivity]. *Plodorodie*. 2010;(6(57)):12-14. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15320667>
18. Rotkittikhun P., Chaiyarat R., Kruatrachue M., Pokethitiyook P., Baker A J M. Growth and lead accumulation by the grasses *Vetiveria zizanioides* and *Thysanolaena maxima* in lead-contaminated soil amended with pig manure and fertilizer: A glasshouse study. *Chemosphere*. 2007;66(1):45-53. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.05.038>
19. Shishov A. D., Nikolaeva T. A., Grishanov S. L. *Vliyanie bespodstilochnogo svinogo navoza na urozhaynost' zelenoy massy yachmenya v usloviyakh Novgorodskoy oblasti*. [The influence of unstitched pig manure on the yield of green barley mass in the Novgorod region]. *Fundamental'nye issledovaniya* = Fundamental research. 2011;(4):66-69. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15594761>
20. Kononchuk V. V., Shtyrkhunov V. D., Nazarova T. O., Timoshenko S. M., Sobolev S. V. *Velichiny optimal'noy obespechennosti zernovykh kul'tur azotnym pitaniem i zatraty azota udobreniy na ikh formirovaniye v tsentre Nechernozemnoy zony Rossii*. [Values of optimal provision of grain crops with nitrogen nutrition and nitrogen fertilizer costs for their formation in the center of the non-Chernozem zone of Russia]. *Agrokhiimiya*. 2018;(11):33-42. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36429696>
21. Liu J., Diamond J. China's environment in a globalization. *Nature*. 2005. Vol. 435. pp. 1179-1186.
22. Okorkov V. V., Fenova O. A., Okorkova L. A. *Udobrenie i produktivnost' sevooborotov na serykh lesnykh pochvakh Verkhnevolzh'ya*. [Fertilization and productivity of crop rotations on gray forest soils of the upper Volga region]. *Agrokhiimiya*. 2018;(2):56-70. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32656266>
23. Ivanov A. I., Konashenkov A. A. *Agroekologicheskie posledstviya neravnomernogo vneseniya navoza v ovoshchnom sevooborote*. [Agroecological consequences of uneven application of manure in vegetable crop rotation]. *Agrokhiimiya*. 2012;(6):66-72. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17868491>

Сведения об авторах:

✉ **Титова Вера Ивановна**, доктор с.-х. наук, профессор, зав. кафедрой агрохимии и агроэкологии ФГБОУ ВО «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия», пр. Гагарина, 97, г. Нижний Новгород, Нижегородская область, Российская Федерация, 603107, e-mail: ngsha-kancel-1@bk.ru, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0962-5309>**, e-mail: titovati@yandex.ru,

Варламова Лариса Дмитриевна, доктор с.-х. наук, профессор кафедры агрохимии и агроэкологии ФГБОУ ВО «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия», пр. Гагарина, 97, г. Нижний Новгород, Нижегородская область, Российская Федерация, 603107, e-mail: ngsha-kancel-1@bk.ru, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4085-5359>**,

Рыбин Роман Николаевич, аспирант кафедры агрохимии и агроэкологии ФГБОУ ВО «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия», пр. Гагарина, 97, г. Нижний Новгород, Нижегородская область, Российская Федерация, 603107, e-mail: ngsha-kancel-1@bk.ru, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6557-9306>**,

Андропова Татьяна Владимировна, аспирант кафедры агрохимии и агроэкологии ФГБОУ ВО «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия», пр. Гагарина, 97, г. Нижний Новгород, Нижегородская область, Российская Федерация, 603107, e-mail: ngsha-kancel-1@bk.ru, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5663-5775>**.

Information about the authors:

✉ **Vera I. Titova**, DSc in Agricultural Sciences, professor, head of the Department of Agrochemistry and Agroecology, Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Gagarin Avenue, 97, Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod region, Russian Federation, 603107, e-mail: ngsha-kancel-1@bk.ru, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0962-5309>**, e-mail: titovati@yandex.ru,

Larisa D. Varlamova, DSc in Agricultural Sciences, professor of the Department of Agrochemistry and Agroecology, Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Gagarin Avenue, 97, Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod region, Russian Federation, 603107, e-mail: ngsha-kancel-1@bk.ru, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4085-5359>**,

Roman N. Rybin, postgraduate of the Department of Agrochemistry and Agroecology, Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Gagarin Avenue, 97, Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod region, Russian Federation, 603107, e-mail: ngsha-kancel-1@bk.ru, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6557-9306>**,

Tatyana V. Andronova, postgraduate of the Department of Agrochemistry and Agroecology, Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Gagarin Avenue, 97, Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod region, Russian Federation, 603107, e-mail: ngsha-kancel-1@bk.ru, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5663-5775>**.

✉ - Для контактов / Corresponding author