



ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЫМЫВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУГЛИНИСТОЙ И СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВ

Т.В. Папаскири¹, Е.А. Пивень², А.Е. Касьянов³, Д.Е. Кучер², А.А. Шевчук¹

¹Государственный университет по землеустройству, Москва, Россия

²Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

³Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

Аннотация. Актуальность исследования определяется проблемой недостаточной изученности процессов вымывания химических веществ и удобрений с извещением из различных по гранулометрическому составу дерново-подзолистых почв при орошении, внесении удобрений и других факторах природного и антропогенного характера. Целью исследований являлось изучение процессов вымывания химических веществ из почв при воздействиях факторов природного и антропогенного характера. Исследования проводили в лизиметрах с глубиной почвенного профиля 35 и 70 см. Полив почв лизиметров осуществляли при достижении содержания влаги в верхнем 0-30 см слое почв на уровне 0,7 НВ. Состав растительного покрова соответствовал таковому на опытных делянках и включал различные компоненты злаковых и бобовых культур с доминированием ежи сборной. В лизиметрах были представлены дерново-подзолистая суглинистая глубокоогулеенная и дерново-подзолистая супесчаная почвы. Анализ экспериментальных данных показывает, что вынос азота в нитратной форме превалирует над его выносом в аммиачной форме практически при всех условиях опыта, за исключением влажных условий, из дерново-подзолистой супесчаной почвы. Потери калия заметно выше в осенние периоды, особенно если предшествующий вегетационный период отличается недостаточным увлажнением. Во влажные годы (и суглинистые, и супесчаные почвы) кальция вымывается больше летом, чем в осенний и зимне-весенний периоды. Кальций и магний присутствуют в инфильтрате в больших количествах, чем все другие элементы питания, особенно суглинистой почвы.

Ключевые слова: инфильтрация влаги, запасы влаги, фитоценоз, химические вещества, удобрения, вымывание химических веществ

Original article

THE INVESTIGATION OF THE PROCESS OF CHERMICALS LEACHING FROM SODDY-PODZOLIC LOAMY AND SANDY SOILS

T.V. Papaskiri¹, E.A. Piven², A.E. Kasyanov³, D.E. Kucher², A.A. Shevchuk¹

¹State University of Land Use Planning, Moscow, Russia

²Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

³Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Abstract. The paper is devoted to the investigation of chemicals leaching from the soil as a result of natural and anthropogenic factors. Models of vegetation cover included various components of cereal and leguminous crops, which are frequently dominated by cocksfoot under conditions of different moisture content. The nitrogen outflow in the nitrate form prevails over its outflow in the ammonia form within almost all experimental conditions, except the wet conditions of soddy-podzolic sandy loamy soil. Potassium losses are significantly higher during the autumn periods, especially if the preceding vegetation period is characterized by insufficient moisture. Calcium outflow is higher during the summer than during autumn, winter and spring. Calcium and magnesium are present in the infiltrate in larger quantities than all other elements of nutrition, especially loamy soil.

Keywords: moisture infiltration, moisture reserves, phytocenosis, chemicals, fertilizers, chemicals leaching

Введение. Влага и химические вещества перераспределяются между отдельными почвенными слоями, зоной аэрации и грунтовыми водами, а также между почвой и прилегающим к ней нижним слоем атмосферы. По интенсивности вымывания из пахотных почв основные элементы минерального питания располагаются в следующем порядке Са>Мг>N>K>P [8].

Главными статьями внутрипочвенного влаго- и солеобмена являются инфильтрация атмосферных осадков в почву и расход на испарение грунтовых вод. За периоды времени проведения исследований было установлено, что в годовом цикле больше всего вымывается кальция — 89-106 кг/га. С капиллярным поднятием грунтовых вод возвращается (% от выноса): калия — 15-14, марганца — 13,6-9,3, цинка — 13,6-7,7, кальция — 7,5-5,2 и магния — 7,1-4,7.

Соотношение объемов подпитывания и инфильтрации в дерново-подзолистой суглинистой почве составляют следующие величины: при УГВ=70 см — 86 и 17 мм, УГВ=95 см — 97 и 45 мм, УГВ=120 см — 28 и 34 мм и при УГВ=145 см — 13 и 51 мм (Шишов и др., 2001).

Основными факторами инфильтрации влаги из почвы являются: физические и химические свойства почв, вид удобрения и его нормы внесения, осадки и орошение, вид растительного покрова и некоторые другие (Муромцев и др., 2000; Семенов и др., 2000, 2002). Имеющиеся научные материалы о роли этих факторов в выносе химических веществ из различных почв проанализированы в работах Кулаковской (1978), Благовещенского (1978), Короткова с соавторами (1984), Семенова и др. (2005) и других ученых. Многие аспекты этой сложной проблемы остаются не исследованными для решения прикладных задач. В частности, например, отмечено, что во влажные годы кальция в суглинистой почве вымывается больше летом, чем в осенний и зимне-весенний периоды. В супесчаной же почве наибольшие потери кальция и магния отмечены в первый год опыта, а в суглинистой — во второй.

Настоящая работа посвящена процессам вымывания химических веществ из различных почв при орошении и внесении бесподстилочного навоза и других факторов природного и антропогенного характера.

Материалы и методы исследования. Исследования проводили в лизиметрах Почвенного института им. В.В. Докучаева РАН (Муромцев, Семенов и др., 2005, 2006) и лизиметрах ВНИИ кормов им В.Р. Вильямса в 2010-2013 гг. (станция Луговая Московской области), лизиметрах-сборниках глубиной почвенного профиля 35 и 70 см, выполненных из нержавеющей стали. Полив почв лизиметров осуществляли при достижении содержания влаги в верхнем 0-30 см слое почв на уровне 0,7 НВ (наименьшей влагоемкости). Модели растительного покрова соответствовали таковому на опытных делянках и включали различные компоненты злаковых и бобовых культур с доминированием ежи сборной. В лизиметрах были использованы дерново-подзолистая суглинистая глубокоогулеенная и дерново-подзолистая супесчаная почвы.

Дерново-подзолистая суглинистая глубокоогулеенная почва на покровном суглинке (слабо выраженный склон опытного участка ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса) характеризуется следующими значениями показателей физического состояния в горизонте (гор.) А1: удельной



массы — 2,56 г/см³, плотности почвы — 1,42 г/см³, общей порозности — 55,4%, наименьшей влагоемкости (НВ) — 30,9%, влажности завядания — 5,83% и максимальной гигроскопичности — 3,93%. В гор. В2 (62-115 см) эти показатели имеют значения соответственно: 2,70 г/см³, 1,68 г/см³, 35,4%, 7,45% и 11,17%. В нижней части гор. В2 (примерно со 100 см) наблюдается легкое оглеение, выраженное железисто-марганцевыми включениями. По мнению Ф.Р. Зайделямана (1989), это является характерным признаком начинающегося (начальная стадия) заболачивания.

Плотность почвы, порозность, максимальная гигроскопичность, ВЗ и НВ изменяются в почвенной толще от Ad до ВЗ в следующих пределах соответственно: 1,14-1,77г/см³, 55,4-35,4%, 4,35-7,45%, 6,53-11,17% и 30,9-21,2%.

Дерново-подзолистая супесчаная почва опытного участка ВНИИ кормов в гор. Апах (0-25 см) представляет собой супесь буровато-серого цвета (вторгаются пятна из опесчаненных прослоек). Сложение довольно плотное, структура комковато-ореховатая. Гор. А2 (25-39 см) сложен супесью желтовато-серого цвета, структура пластинчато-ореховатая. Сложение плотное. Супесь подстилается песками: гор. В1 (39-60 см) — песок бурого цвета, плотноватого сложения и гор. В2 (60-100 см) — песок рыжего цвета рыхлого сложения. Основные свойства этой почвы — плотность почвы, МГ, НВ, ВЗ и общая порозность — изменяются в пределах профиля (от гор. Апах до В2) следующим образом: 1,5-1,7 г/см³, 2,38-1,68%, 19,7-7,6%, 5,4-2,4% и 43,2-36,6%.

Результаты исследования и их обсуждения.

Данные таблиц 1 и 2 свидетельствуют о том, что потери нитратного и аммиачного азота во всех вариантах обеих почв даже при внесении больших доз удобрений (240 кг/га в год) происходят в виде аммиачной или нитратной их форм, аналогичные данные получены и другими исследователями (Семенов и др., 2005). При внесении под травостой овсяницы луговой 180 кг/га азотных удобрений объем вынесенного инфильтрацией азота составил лишь 0,3-0,4% от внесенных удобрений.

Вымывание нитратного азота в заметных концентрациях наблюдается лишь во влажные годы из дерново-подзолистой супесчаной почвы и составляет 0,25 г/м² или 2,5 кг/га. Следует также отметить, что вынос азота в нитратной форме превалирует над его выносом в аммиачной форме практически при всех условиях опыта обеих почв за исключением влажных условий из дерново-подзолистой супесчаной почвы.

Потери калия заметно выше в осенние периоды, особенно если предшествующий вегетационный период отличается недостаточным увлажнением, а также и летом, если оно было влажным или избыточно влажным. При этом его потери из супесчаной разновидности заметно выше по сравнению с суглинистой.

При дробном внесении калия 120 кг/га в два приема, наибольшее вымывание его из супеси наблюдается при втором и четвертом отрастаниях растений, то есть спустя 30-60 дней после их подкормки. И все-таки общие размеры потерь калия незначительны. Если при оптимальном орошении (контроль) максимальное вымывание его с 1 га из супесчаной почвы при внесении аммиачной или нитратной формы удобрения составляло соответственно 11,2-7,7 кг, то в средние и во влажные годы потери практически оставались постоянными. По данным некоторых исследователей (Семенов и др., 2005), из почв с высокой сорбционной способностью потерь калия не наблюдается.

Таблица 1. Вымывание химических элементов из лизиметров с дерново-подзолистой супесчаной почвы (0-70 см) при разном увлажнении злакового травостоя и внесении N₂₄₀ на фоне P₉₀K₁₂₀
Table 1. Washing out of chemical elements from lysimeters from soddy-podzolic sandy loamy soil (0-70 cm) with different moistening of cereal herbage and application of N₂₄₀ against the background of P₉₀K₁₂₀

Вариант	Форма азота	Периоды наблюдений	Инфильтрат, л/м ²	Вымывание веществ, г/м ²				
				N-NO ₃	N-NH ₄	K ₂ O	Ca	Mg
Засушливый год	NH ₄	вегетационный	49	0,002	0,01	0,30	14,43	1,40
		осенне-весенний	134	Сл.	Сл.	0,82	23,76	1,50
		годовой цикл	183	0,002	0,01	1,12	38,19	2,90
	NO ₃	вегетационный	44	0,002	Сл.	0,11	6,10	0,43
		осенне-весенний	124	Сл.	Сл.	0,66	16,81	1,76
		годовой цикл	168	0,002	Сл.	0,77	22,91	2,91
Средний по увлажнению год	NH ₄	вегетационный	54	0,003	0,02	0,26	4,82	0,95
		осенне-весенний	142	Сл.	Сл.	0,85	33,76	2,26
		годовой цикл	196	0,003	0,02	1,11	38,58	3,21
	NO ₃	вегетационный	31	0,001	0,03	0,13	1,44	0,36
		осенне-весенний	154	Сл.	Сл.	0,78	9,84	0,88
		годовой цикл	185	0,001	0,03	0,91	11,28	1,24
Влажные условия	NH ₄	вегетационный	158	0,05	0,01	0,65	24,86	2,90
		осенне-весенний	252	Сл.	Сл.	0,52	21,56	3,18
		годовой цикл	410	0,05	0,01	1,17	46,42	6,08
	NO ₃	вегетационный	167	0,25	0,03	0,29	8,99	1,07
		осенне-весенний	278	Сл.	Сл.	0,34	15,11	0,51
		годовой цикл	445	0,25	0,03	0,63	24,10	1,58

Таблица 2. Вымывание элементов питания из лизиметров с дерново-подзолистой суглинистой почвы (0-70 см) при различном увлажнении злакового травостоя и внесении N₂₄₀ в разных формах
Table 2. Washing out of batteries from lysimeters from soddy-podzolic loamy soil (0-70 cm) with different moisture content of grass stand and application of N₂₄₀ in various forms

Увлажнение	Форма азота	Периоды наблюдений	Инфильтрат, л/м ²	Вымывание, г/м ²				
				NO ₃	NH ₄	K ₂ O	Ca	Mg
Полив при 0,7 НВ	NH ₄	вегетационный	16	0,01	-	0,01	3,34	1,28
		осень	52	-	-	0,11	8,60	35,92
		зимне-весенний	144	-	-	Сл.	14,48	9,77
		годовой цикл	212	0,01	-	0,12	26,42	46,97
	NO ₃	вегетационный	8	Сл.	0,01	Сл.	0,26	0,03
		осень	40	-	-	0,08	1,90	0,93
Засушливые условия	NH ₄	зимне-весенний	140	-	-	Сл.	6,27	2,32
		годовой цикл	188	Сл.	0,01	0,08	8,43	3,28
		вегетационный	16	-	-	0,02	6,89	2,86
	NO ₃	осень	44	0,03	-	0,04	11,16	5,60
		зимне-весенний	132	-	-	Сл.	36,22	15,27
		годовой цикл	192	0,03	-	0,06	54,27	23,73
Средний год	NH ₄	вегетационный	8	Сл.	-	0,01	0,23	0,12
		осень	40	0,04	-	0,05	4,91	1,82
		зимне-весенний	144	-	-	Сл.	14,80	6,25
	NO ₃	годовой цикл	192	0,04	-	0,06	19,94	8,19
		вегетационный	28	0,01	-	0,02	8,00	3,39
		осень	52	0,04	-	0,05	16,85	7,79
Влажные условия	NH ₄	зимне-весенний	200	-	-	Сл.	30,48	14,02
		годовой цикл	280	0,05	-	0,07	55,33	25,20
		вегетационный	36	0,01	-	0,01	0,57	0,23
	NO ₃	осень	52	0,06	0,02	0,06	5,85	1,50
		зимне-весенний	180	-	-	Сл.	11,45	4,36
		годовой цикл	268	0,07	0,02	0,07	17,87	6,09
Влажные условия	NH ₄	вегетационный	148	0,06	-	0,03	14,36	1,64
		осень	104	-	-	0,10	17,57	8,34
		зимне-весенний	176	-	-	Сл.	18,79	7,41
	NO ₃	годовой цикл	428	0,06	-	0,13	50,72	17,39
		вегетационный	120	0,06	0,01	0,04	8,89	2,29
		осень	100	-	-	0,08	6,06	3,04
Влажные условия	NO ₃	зимне-весенний	136	-	-	Сл.	6,23	2,94
		годовой цикл	356	0,06	0,01	0,12	21,18	8,27





Кальций и магний присутствуют в инфильтрате в значительно больших количествах, чем все другие элементы питания ($N+P_2O_5+K_2O$). В зависимости от условий увлажнения отмечается некоторая сезонная зависимость. Во влажные годы кальция вымывалось больше летом, чем в осенний и зимне-весенний периоды. А при оптимальном увлажнении (контроль) и в засушливые вегетационные периоды, наоборот, максимальные потери кальция происходят в период весеннего снеготаяния.

На вымывание кальция и магния влияет форма вносимого азотного удобрения. Так, при использовании аммиачного удобрения потери кальция и магния усиливаются из обеих почв в 2-4 и более раз.

Вымывание кальция и магния во влажные годы идет непрерывно от весны до зимы, и при этом их концентрация самая низкая (в 1,5-3 раза ниже) в сравнении с другими вариантами по увлажнению. В супесчаной почве наибольшие потери кальция и магния отмечены в первый год опыта, в суглинистой — во второй.

Отмеченные выше особенности вымывания за пределы 70 см основных элементов питания отразились на агрохимических показателях почвы. В сравнении с исходным состоянием их содержание уменьшилось в 1,5-2,0 раза, что связано с большим выносом этих элементов инфильтратом и урожаем. Возрастает кислотность пахотного горизонта: если в контроле (без азота) рН равнялось 6,1, то при внесении аммиачной формы удобрения, усиливающей вымывание Са и Mg (особенно во влажные годы), рН составляло 5,5. При оптимальном увлажнении резких изменений рН не обнаружено.

По периодам года основная доля потерь кальция и магния из суглинистой почвы не пропорциональна сумме осадков, она лучше соответствует ходу инфильтрации и составляет 52% за вегетационный период и 36% за весенний. Из супесчаной почвы 58% общих потерь кальция и магния приходится на вегетационный, 17% — на осенний и 25% — на весенний периоды.

Выводы. Потери нитратного и аммиачного азота во всех вариантах обеих почв даже при внесении больших доз удобрений (240 кг/га в год) осуществляются в виде аммиачной или нитратной их форм.

Вымывание нитратного азота в заметных концентрациях наблюдается лишь во влажные

годы из дерново-подзолистой супесчаной почвы и составляет 0,25 г/м² или 2,5 кг/га. Вынос азота в нитратной форме превалирует над его выносом в аммиачной форме практически при всех условиях опыта обеих почв за исключением влажных условий из дерново-подзолистой супесчаной почвы. Потери калия заметно выше в осенние периоды, особенно если предшествующий вегетационный период отличается недостаточным увлажнением. При этом его потери из супесчаной почвы заметно выше по сравнению с суглинистой.

Кальций и магний присутствуют в инфильтрате значительно в больших количествах, чем все другие элементы питания, особенно суглинистой почвы. Во влажные годы кальция вымывается больше летом, чем в осенний и зимне-весенний периоды. В супесчаной почве наибольшие потери кальция и магния отмечены в первый год опыта, в суглинистой — во второй.

По периодам года основная доля потерь кальция и магния из суглинистой почвы не пропорциональна сумме осадков, она лучше соответствует ходу инфильтрации и составляет 52% за вегетационный период, 12 и 36% — за осенний и весенний периоды соответственно. Из супесчаной почвы 58% общих потерь кальция и магния приходится на вегетационный, 17% — на осенний и 25% — на весенний периоды.

Исследования проводили в лизиметрах Почвенного института им. В.В. Докучаева РАН (2005, 2006 гг., Муромцев Н.А.) и в лизиметрах-сборниках ВНИИ кормов им В.Р. Вильямса (2010-2013 гг., станция Луговая Московской области, Семенов Н.А.) с глубиной почвенного профиля 35 и 70 см. Полив почв лизиметров осуществляли при достижении содержания влаги в верхнем 0-30 см слое почв на уровне 0,7 НВ (наименьшей влагоемкости). Состав растительного покрова соответствовал таковому на опытных участках и включал различные компоненты злаковых и бобовых культур с доминированием ежи сборной. В лизиметрах были представлены дерново-подзолистая суглинистая глубокоогулеванная и дерново-подзолистая супесчаная почвы.

Список источников

1. Благоевский Г.В. Производство и использование кормов на комплексах Нечерноземья. М.: Россельхозиздат, 1978. 188 с.
2. Зайдельман Ф.Р. Гидрологический режим почв Нечерноземной зоны. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 328 с.

3. Коротков Б.И., Гречишников Н.Н. Ресурсосберегающие технологии создания и улучшения сенокосов и пастбищ: обзорная информация. М., 1990. 60 с.

4. Кулаковская Т.Н., Агитц В.Ю. Влияние известкования и минеральных удобрений на вымывание элементов питания из почвы // Химия в сельском хозяйстве. 1978. № 9. С. 53-55.

5. Муромцев Н.А., Большаков В.А., Орлова Л.П. Режим влаги и химических веществ в пойме реки Москвы // Аграрная наука. 2000. № 7. С. 7-9.

6. Семенов Н.А., Муромцев Н.А. Особенности пищевого режима сеяных лугов фитоценозов на дерново-подзолистых почвах при орошении // Современные проблемы почвоведения / РАСХН. М., 2006. С. 347-356.

7. Семенов Н.А., Муромцев Н.А., Сабитов Г.А., Коротков Б.И. Лизиметрические исследования в луговодстве. М.: Аверс Пресс, 2005. 498 с.

8. Шишов Л.Л., Муромцев Н.А., Большаков В.А., Орлова Л.П. Исследование режима влаги и химических веществ в агроландшафтах южной тайги. М., 2001. 230 с.

References

1. Blagoveshchenskii, G.V. (1978). *Proizvodstvo i ispol'zovanie kormov na kompleksakh Nечernozemya* [Production and use of feed on complexes of the non-Chernozem region]. Moscow, Rossel'khozizdat Publ., 188 p.

2. Zaidel'man, F.R. (1985). *Gidrologicheskii rezhim pochv Nечernozemnoi zony* [Hydrological regime of soils of the non-Chernozem zone]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 328 p.

3. Korotkov, B.I., Grechishnikov, N.N. (1990). *Resursosberegayushchie tekhnologii sozdaniya i uluchsheniya senokosov i pastbishch: obzornaya informatsiya* [Resource-saving technologies for creating and improving hayfields and pastures: review of information]. Moscow, 60 p.

4. Kulakovskaya, T.N., Agits, V.Yu. (1978). *Vliyaniye izvestkovaniya i mineral'nykh udobrenii na vymyvanie ehlementov pitaniya iz pochvy* [Influence of liming and mineral fertilizers on leaching of nutrition elements from the soil]. *Khimiya v sel'skom khozyaistve* [Chemistry in agriculture], no. 9, pp. 53-55.

5. Muromtsev, N.A., Bol'shakov, V.A., Orlova, L.P. (2000). *Rezhim vlazi i khimicheskikh veshchestv v poime reki Moskvy* [Regime of moisture and chemical substances in the floodplain of the Moscow river]. *Agrarnaya nauka* [Agrarian science], no. 7, pp. 7-9.

6. Semenov, N.A., Muromtsev, N.A. (2006). *Osobennosti pishchevogo rezhima seyanykh lugov fitotsenozov na dervno-podzolistykh pochvakh pri osheni* [Features of the food regime of seed meadows of phytocenoses on sod-podzolic soils during irrigation]. *Sovremennyye problemy pochvovedeniya* [Modern problems of soil science]. Moscow, pp. 347-356.

7. Semenov, N.A., Muromtsev, N.A., Sabitov, G.A., Korotkov, B.I. (2005). *Lizimetrichekkiye issledovaniya v lugovodstve* [Lysimetric research in meadow farming]. Moscow, Avers Press, 498 p.

8. Shishov, L.L., Muromtsev, N.A., Bol'shakov, V.A., Orlova, L.P. (2001). *Issledovaniye rezhima vlazi i khimicheskikh veshchestv v agrolandshaftakh yuzhnoi taigi* [Research and regime of moisture and chemical substances in agricultural landscapes of the southern taiga]. Moscow, 230 p.

Информация об авторах:

Папаскири Тимур Валикович, доктор экономических наук, кандидат сельскохозяйственных наук, профессор, врио ректора, Государственный университет по землеустройству, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3780-9060>, t_papaskiri@mail.ru

Пивень Елена Анатольевна, кандидат медицинских наук, доцент, Российский университет дружбы народов, stanislavpiven@mail.ru

Касьянов Александр Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6912-9078>, kasian@rgau-msha.ru

Кучер Дмитрий Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент, директор Департамента рационального природопользования, директор Научного центра исследований, комплексного проектирования и развития городского и сельского хозяйства, Российский университет дружбы народов, kucher-de@rudn.ru

Шевчук Артем Александрович, директор Центра цифровой трансформации, Государственный университет по землеустройству, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4938-0193>, shevart@zemlguz.ru

Information about the authors:

Timur V. Papaskiri, doctor of economic sciences, candidate of agricultural sciences, professor, acting rector, State University of Land Use Planning, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3780-9060>, t_papaskiri@mail.ru

Elena A. Piven, candidate of medical sciences, associate professor, Peoples' Friendship University of Russia, stanislavpiven@mail.ru

Alexander E. Kasyanov, doctor of technical sciences, professor, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6912-9078>, kasian@rgau-msha.ru

Dmitry E. Kucher, candidate of technical sciences, associate professor, director of the Department of rational nature management, director of the Scientific center for research, integrated design and development of urban and agriculture, Peoples' Friendship University of Russia, kucher-de@rudn.ru

Artem A. Shevchuk, director of the Center for digital transformation, State University of Land Use Planning, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4938-0193>, shevart@zemlguz.ru