



УДК 528.7
DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-210-222

Исследование гумусированности почв в агрохронорядях с использованием наземных средств и данных дистанционного зондирования Земли

Бек А.Н.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
E-mail: 966665@bsu.edu.ru

Аннотация. Применение данных дистанционного зондирования Земли основательно приумножило возможности исследования и оценки природных ресурсов. Немногочисленный опыт совмещенного использования историко-картографического и дистанционных методов исследования для изучения гумусированности освоенных серых лесных почв, вовлеченных в распашку в разные исторические периоды, требует продолжения изучения данных подходов. В предлагаемой статье изложены результаты исследований по выявлению зависимости тона изображения от содержания и запасов органического вещества сельскохозяйственно используемых серых лесных почв на территории Белгородской области Российской Федерации, полученные на основе анализа спутниковых данных *Landsat* и данных наземных наблюдений гумусного состояния почв региона. На основе анализа изображения открытой поверхности пахотных серых лесных почв изучена зависимость тона изображения от содержания и запасов гумуса. Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что при автоматизированном дешифрировании почв по космическим снимкам анализ тоновых характеристик открытой поверхности пахотных почв от содержания и запасов органического вещества показывает высокую корреляционную связь.

Ключевые слова: почвенное плодородие, *Landsat*, почвенный мониторинг, гумус, лесостепь, органическое вещество, запасы гумуса

Для цитирования: Бек А.Н. 2022. Исследование гумусированности почв в агрохронорядях с использованием наземных средств и данных дистанционного зондирования Земли. Региональные геосистемы, 46(2): 210–222. DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-210-222

The Study of Soil Humus Content in Agrochronological Series Using Ground-Based Tools and Remote Sensing Data

Anastasia N. Bek

Belgorod National Research University,
85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia
E-mail: 966665@bsu.edu.ru

Abstract. Extensive implementation of Earth remote sensing data has substantially increased the ability to research and evaluate natural resources. The limited experience of the combined use of historical-cartographic and remote research methods to study the humus content of the developed gray forest soils involved in plowing in different historical periods requires further study of these approaches. The proposed article presents the results of studies to identify the dependence of the image tone on the content and reserves of organic matter of the gray forest soils used for agriculture in the Belgorod region of the Russian Federation, obtained on the basis of the analysis of *Landsat* satellite data and information on the data of ground observations of the humus state of the soils of the region. Based on the analysis of the image of the open surface of arable gray forest soils the dependence of the image tone on the content and

reserves of humus was studied. The data obtained allow us to conclude that with automated interpretation of soils from satellite images, the analysis of the tone space of the open surface of arable soils from the content and reserves of organic matter shows a high correlation.

Keywords: soil fertility, Landsat, monitoring land, humus, forest-steppe, organic matter, humus reserves

For citation: Bek A.N. 2022. The Study of Soil Humus Content in Agrochronological Series Using Ground-Based Tools and Remote Sensing Data. *Regional Geosystems*, 46(2): 210–222 (in Russian). DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-210-222

Введение

Контроль изменения гумусового состояния почв – это одно из главных направлений мониторинга сферы управления природопользованием, основной целью которого служит обоснование мероприятий, способствующих повышению плодородия земель [Подколзин, Есаулко, 2008]. Такой вид контроля включает в себя наземные и лабораторные исследования почв на небольших территориях [Чендев, 2008; Чендев и др., 2011]. Общепринятые традиционные методы, которые применяются при проведении мониторинга почвенного покрова, основаны на определении отдельных свойств почв. Использование этих методов не предполагает проведения пространственно-временной оценки состояния почв. Сталкиваясь с этой проблемой на протяжении длительного времени, многие ученые сошлись во мнении, что при проведении мониторинга почв необходимо применять пространственно-временные методы исследования, которые базируются на использовании современных данных ДЗЗ [Minasny, McBratney, 2015]. В XXI в. данные материалы имеют большую востребованность, т. к. обладают быстротой распространения вследствие своей оперативности и объективности, при этом с помощью данных ДЗЗ появляются уникальные возможности для различного охвата территорий разных площадей [Hartemink et al., 2008]. Уже имеется первый опыт совмещенного использования историко-картографического и дистанционных методов исследования для изучения плодородного состояния пригодных для распашки серых лесных почв, вовлеченных в распашку в разные исторические периоды [Савин, Чендев, 1994; Tiwari et al., 2015]. В указанном направлении требуется продолжение исследований и уточнение методов и подходов на новых объектах.

Целью исследовательской работы является выявление и анализ зависимости между тоном изображения открытой поверхности пахотных земель и содержанием/запасами органического вещества, которое концентрируется в верхнем слое лесостепных агросерых почв.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования выступают почвы разных сроков распашки и их ареалы в пределах агроландшафтов на месте широколиственно-лесного зонального подтипа лесостепного ландшафта Белгородской области (ключевой участок «Батрацкая дача»). Также для исследования были использованы спутниковые снимки для всей территории исследования.

В пределах широколиственно-лесного ландшафта лесостепи на месте формирования в прошлом подтипа темно-серых лесных почв (изучен на разных элементах рельефа в расположенном рядом коренном дубово-широколиственном лесу) были изучены почвы 100-летней пашни (13 разрезов) и почвы 160-летней пашни (14 разрезов).

Почвы 100-летней пашни и почвы 160-летней пашни были рассмотрены и исследованы в 7 разрезах на ровных водоразделах, а также в 20 разрезах на склонах почвенных катен разной крутизны (от 3 до 6 градусов) (рис. 1, 2, 3).

На участках молодой пашни почвы относятся к типу темно-серых лесных, переходных к оподзоленным чернозёмам. Почвы на старопахотных угодьях представлены чернозёмами выщелоченными и оподзоленными.



Рис. 1. Фрагмент космоснимка с точками заложения разрезов вдоль почвенных катен на разновозрастных пашнях ключевого участка Батрацкая дача
Fig. 1. A fragment of a satellite image with points of cuts along soil sequence on arable lands of different ages in the key area of the Batratskaya Dacha

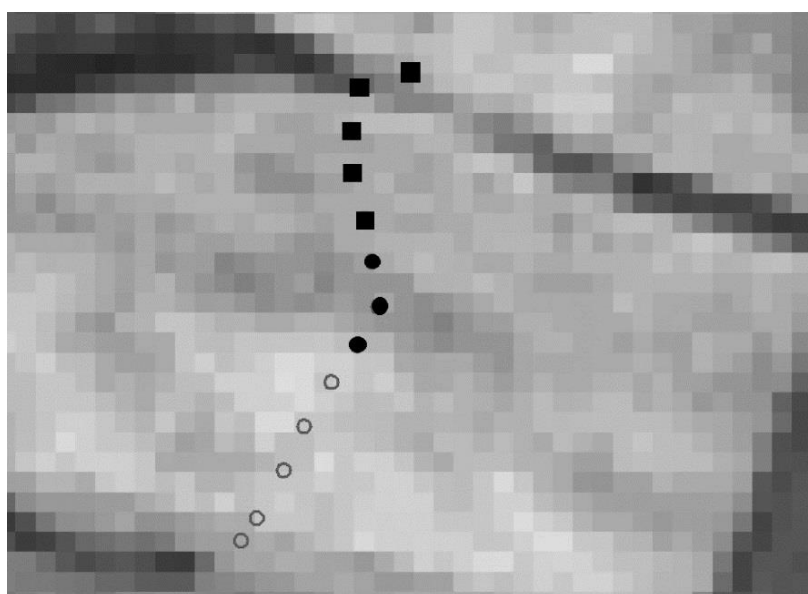


Рис. 2. Фрагмент космоснимка – участки пашни с возрастом освоения 160 лет на склонах северной и южной экспозиций (● – середина водораздела, ○ – южный склон, ■ – северный склон)
Fig. 2. Fragment of a satellite image – arable land with a development age of 160 years on the slopes of northern and southern exposures (● – middle of the watershed, ○ – southern slope, ■ – northern slope)

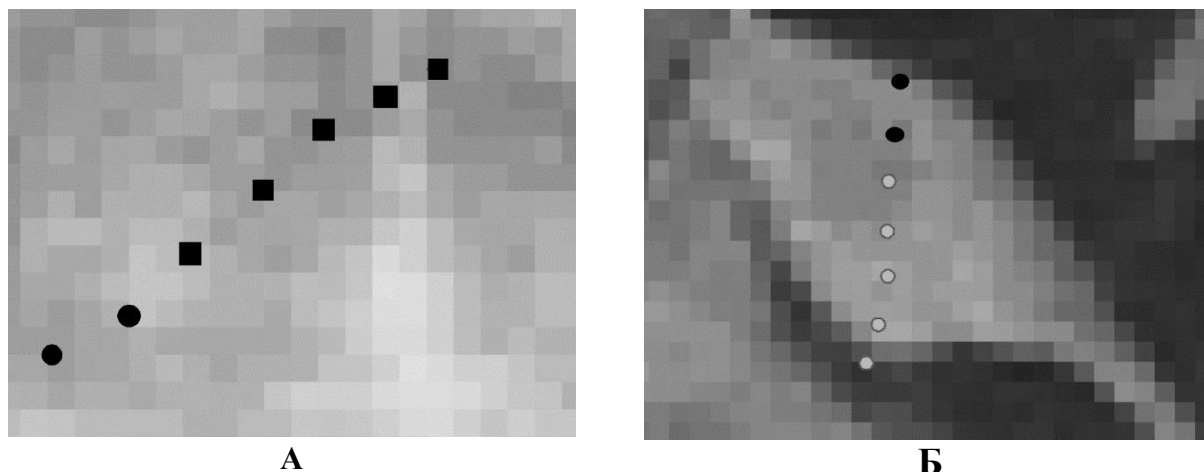


Рис. 3. Фрагмент космоснимка – участки пашни с возрастом освоения 100 лет;
А – северный склон, Б – южный склон

(● – середина водораздела, ○ – южный склон, ■ – северный склон)

Fig. 3. Fragment of a satellite image - areas of arable land with the age of development of 100 years;

А – northern slope, Б – southern slope

(● – middle of the flat interflue, ○ – southern slope, ■ – northern slope)

В работе был использован следующий комплекс методов исследований: метод почвенных агрохронорядов, историко-картографический метод, методы полевой диагностики почв, сравнительно-географический метод, методы лабораторного анализа почв, метод обработки данных ДЗЗ, методы использования ГИС-технологий, методы математико-статистической обработки данных [Малышевский и др., 2013].

Вблизи п. Батрацкая дача Шебекинского района (Белгородская обл.) были изучены автономные и склоновые участки агроландшафтов. Их исследование проводили для определения зависимости между тоном изображения открытой поверхности пахотных земель и содержанием/запасами органического вещества (для верхнего слоя почв) широколиственно-лесного ландшафта лесостепи. При поиске необходимых участков исследования были использованы крупномасштабные достоверные карты, в разных временных рамках (планы дач периодов генерального и специального межеваний Российской империи масштаба 1:8400 и современных крупномасштабных топокарт масштаба 1:10000). Ранее близкие исследования проводились в другой, полностью лесопокрытой в прошлом, части Белгородской области для идентификации тона изображения открытой поверхности почв на пашнях разного возраста, однако, без данных наземных наблюдений гумусного состояния почв [Савин, Чендев, 1994].

В качестве материалов спутниковой съемки был использован космический снимок *Landsat 4-5 TM*, от 06.05.2007 г. (см. рис. 1). Съемка с аппаратов этого типа обладает оптимальным сочетанием целого ряда факторов (количество и диапазоны используемых каналов, пространственное и радиометрическое разрешение, обширный охват территории одной спутниковой сценой, наличие надежных алгоритмов предварительной коррекции), что обусловило ее выбор для анализа³ [Степанов и др., 2020]. Пространственное разрешение всех используемых каналов составляет 30 м/пиксел.

Критерии для выбора даты съемки:

- 1) на снимке должна отсутствовать облачность;
- 2) на снимке должна быть открытая поверхность пахотных полей;
- 3) пахотный горизонт почв должен быть в сухом состоянии, что достигается отсутствием выпадения интенсивных осадков за 2–3 недели до даты съемки [Савин, 1990].

³ Лабутина И.А. 2004. Дешифрирование аэрокосмических снимков: Учеб. Пособие для студентов вузов. М.: Аспект Пресс, 184 с.



Проведенный анализ структуры посевных площадей в Белгородской области свидетельствует о том, что оптимальным периодом для проведения исследования по данным ДЗЗ является конец апреля – начало мая. Применительно к этому промежутку времени не наблюдается растительного покрова, за исключением посевов озимых [Тютюнов, Карабутов, 2017]. При проведении подобного исследования необходимо учитывать и метеорологические особенности почвы, т. к. тоновые характеристики могут исказиться из-за высокой влажности почвы (чем выше влажность почвы, тем темнее ее поверхность) [Савин, Чендев, 1994; Савин, 2013; Савин, Прудникова, 2014]. При изучении архивных записей по данным метеостанции Белгород, было определено, что за несколько недель (3 недели) до проведения съемки и на её момент (6.05.2007) осадки на исследуемых территориях выпадали фрагментарно и в малом количестве. Учитывая, что в этот период времени преобладают достаточно высокие температуры, можно сделать вывод, что влажность не могла серьезно повлиять на тон изображения открытой поверхности изучаемых почв [Савин, 2013]. На другие даты съемки, кроме выбранной нами, соблюдение указанных требований было проблематичным, т. к. остальные снимки *Landsat* имели высокий процент облачности, а также наличие растительности на поверхности пахотных почв. Для работы со снимком были выполнены радиометрическая коррекция, орто-трансформирование, географическая привязка с использованием наземных точек *GPS*.

Материалы спутниковой съемки были получены из Интернет-архива геологической службы США (USGS). С помощью программного пакета *ERDAS IMAGINE*, который позволяет различать 256 градаций серого цвета в % от 0 до 100 (0 % – абсолютно белый цвет, 100 % – абсолютно черный цвет), была выполнена обработка космических снимков. Для почвенных разрезов в соответствии с рельефом местности были определены значения тона изображения открытой поверхности пахотной почвы (%) по пяти рядом расположенным пикселям [Аэрокосмические методы..., 1990].

В местах заложения разрезов проводился отбор почвенных образцов, включая важные для исследования глубины 0–10 см и 0–20 см. Содержание гумуса определялось в лабораторных условиях по методу Тюрина.

Пространственная привязка почвенных разрезов осуществлялась с помощью приемников *GPS* для повышения результатов исследования на спутниковых снимках.

Решая задачу выявления зависимости тоновых характеристик открытой поверхности почв от содержания и запасов в них гумуса, необходимо было разработать и реализовать последовательность методических приемов, направленную на соотнесение результатов наземных обследований с результатами обработки космической съемки.

Последовательность действий состоит из следующих пунктов:

1. Формирование базы данных на основе систематизированных сведений, которые были получены в ходе полевых исследований пахотных почв на ключевом участке «Ба-трацкая дача».

2. Формирование выборки, состоящей из данных о содержании и запасах гумуса в слоях 0–10 см и 0–20 см пахотных почв.

3. Создание базы количественных характеристик тона изображения открытой поверхности почв в точках исследования, соответствующих местоположению каждого разреза.

4. Проведение статистической обработки полученных данных по выявлению наиболее информативных показателей, отражающих связь между тоном изображения открытой поверхности почв и результатами наземных наблюдений степени гумусированности почв. Указанные расчеты проводились в соответствии с общепринятыми в статистике рекомендациями⁴ [Дмитриев, 1995].

Построение полигонов распределения тона изображения поверхности почв (%) по усредненным значениям пяти повторностей (пикселей) в каждой изучаемой точке

⁴ Доспехов Б.А. 1985. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М., Агропромиздат, 351 с.

основывалось на оценке распределения тоновых характеристик открытой поверхности пахотных почв, сгруппированных по частоте попадания данных в определенные интервалы между минимальным и максимальным значениями показателя. Построенные гистограммы дают представление о разбросе (рассеивании) показателей тоновых неоднородностей цвета открытой поверхности пахотных почв и о степени симметрии или асимметрии показателя. При этом были использованы рекомендации из работы [Journel, 1986].

Результаты и их обсуждение

Статистическая обработка полученных данных включала корреляционный анализ совокупности значений тона изображения открытой поверхности пахотных почв (%) по пяти пикселям в каждой точке наблюдений с такими параметрами почвы, как содержание и запасы гумуса в слое 0–10 и 0–20 см пахотных почв (табл.). В таблице приводятся результаты исследования количественных характеристик интенсивности серого тона изображения открытой поверхности пахотных почв и результаты замеров в точках наблюдений содержания и запасов гумуса в слоях 0–10 и 0–20 см почв.

Значения тона открытой поверхности пахотных почв и содержания/запасов в них гумуса на ключевом участке Батрацкая дача
The values of the tone of the open surface of arable soils and the content/reserves of humus in them at the key site Batratskaya Dacha

Элемент рельефа, возраст распахки, индекс почвенного разреза		Тон открытой поверхности по повторностям определений (пикселям), %						Содержание гумуса, %		Запасы, т/га	
		1	2	3	4	5	Сред.	0–10 см	0–20 см	0–10 см	0–20 см
Водо-раздел, пашня 160 лет	ББСС-2	48	46	46	50	51	48	4,03	3,76	54,00	107,54
	ББС-1	48	48	44	49	50	48	3,96	3,39	59,80	106,45
	ББСЮ-2	47	47	48	42	48	46	3,06	2,91	49,57	96,03
Коэффициент корреляции								0,989	0,972	0,687	0,992
Водо-раздел, пашня 100 лет	ББМС-1	50	47	46	48	41	46	3,75	3,30	51,75	100,98
	ББМС-2	45	44	47	48	47	46	3,56	3,18	50,91	95,40
	ББМЮ-2	45	50	43	49	48	47	4,40	4,04	55,44	108,27
Коэффициент корреляции								1,000	0,994	0,998	0,979
Северный склон, пашня 160 лет	ББСС-3	46	45	48	45	41	45	3,62	3,15	46,70	86,94
	ББСС-4	45	50	47	46	45	47	4,15	3,78	51,46	103,57
	ББСС-5	44	46	47	42	45	45	3,18	2,84	44,52	82,93
Коэффициент корреляции								0,933	0,974	0,978	0,997
Северный склон, пашня 100 лет	ББМС-3	46	43	48	44	40	44	3,26	2,95	46,62	88,50
	ББМС-4	40	43	46	42	38	42	2,91	2,80	35,79	73,92
	ББМС-5	42	43	45	43	43	43	3,45	3,15	43,13	88,20
	ББМС-6	42	40	45	43	40	42	2,85	2,74	38,19	79,46
Коэффициент корреляции								0,876	0,845	0,994	0,954
Южный склон, пашня 160 лет	ББСЮ-3	46	42	49	45	42	45	3,15	2,78	44,73	80,62
	ББСЮ-4	47	43	49	47	43	46	3,60	3,27	53,28	98,75
	ББСЮ-5	42	43	49	45	40	44	3,23	2,91	44,57	84,97
	ББСЮ-6	44	48	48	49	49	48	3,68	3,43	50,05	100,16
Коэффициент корреляции								0,867	0,875	0,676	0,82
Южный склон, пашня 100 лет	ББМЮ-3	52	50	43	51	51	49	4,83	4,38	64,24	120,89
	ББМЮ-4	49	50	44	48	49	48	4,83	4,31	60,38	113,78
	ББМЮ-5	52	51	46	52	52	51	4,87	4,34	68,18	124,12
	ББМЮ-6	51	45	46	42	50	47	3,67	3,18	51,38	94,13
Коэффициент корреляции								0,783	0,780	0,971	0,929

Результаты наземного определения содержания и запасов гумуса в почвах пашни разных сроков освоения выполнялись Ю.Г. Чендевым (предоставлены из отчетной документации по гранту РФФИ, проект 13-05-41158 РГО_a, неопубликованные данные).

В соответствии с проведенным анализом степени гумусированности исследованных почв (табл.) были получены следующие выводы.

На водоразделах молодой пашни содержание гумуса в слоях 0–10 см и 0–20 см больше, чем на этих же участках старопахотных угодий, хотя расхождение показателей небольшое (0,2 % абсолютного содержания). При рассмотрении же запасов гумуса выявляется обратная закономерность – на старой пашне запасы органического вещества больше, чем на молодой.

При рассмотрении всех точек исследования на северных склонах разновозрастных пашен как для слоя 0–10 см, так и для слоя 0–20 см, на старопахотном угодье наблюдаются повышенные значения содержания и запасов органического вещества.

В анализируемых слоях на южных склонах с возрастом сельскохозяйственного освоения 100 лет выявляются повышенные значения содержания и запасов гумуса за исключением самых нижних точек склонов в трансаккумулятивных позициях, где показатели разновозрастных пашен примерно одинаковы.

Результаты корреляционного анализа между тоновыми характеристиками цвета открытой поверхности пахотных почв и результатами лабораторных анализов степени их гумусированности показали, что на всех изучаемых полигонах (водоразделы, южные и северные склоны) наблюдается высокая корреляционная связь между параметрами почв (содержанием и запасами органического вещества) и тоновыми характеристиками открытой поверхности пашни в местах изучения почвенных разрезов (табл.).

Прослеживается следующая закономерность – с увеличением содержания / запасов гумуса наблюдается усиление интенсивности (процента) серого тона изображения на космоснимке (табл., рис. 4, 5).

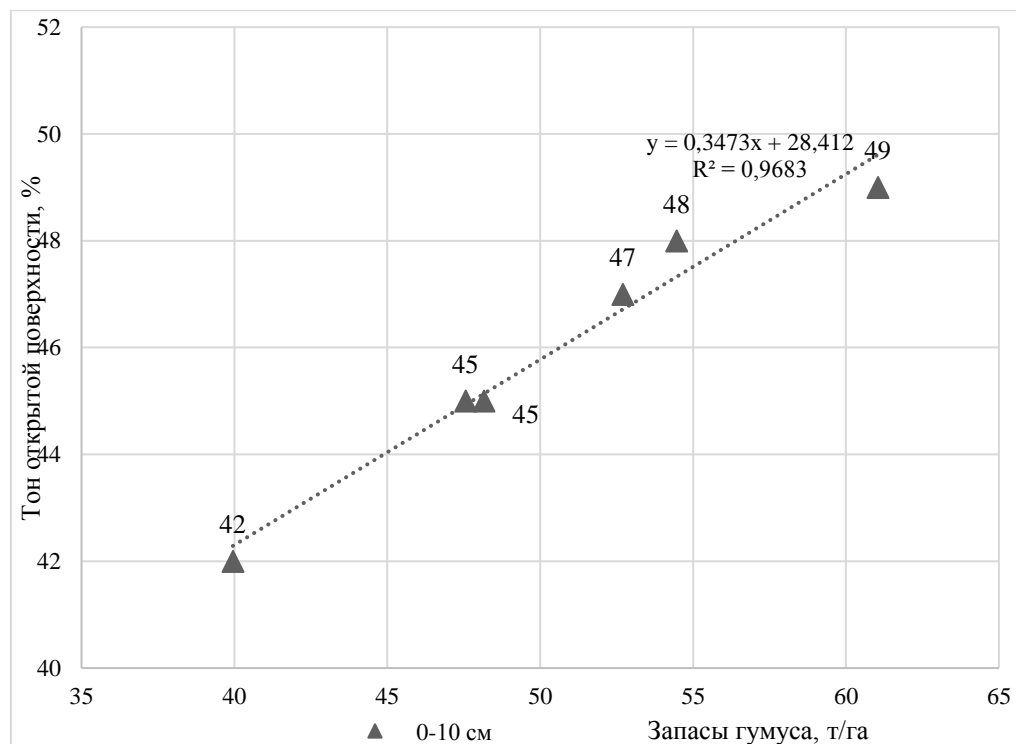


Рис. 4. График зависимости тона изображения открытой поверхности почв от запасов гумуса в слое 0–10 см (совокупность всех изучаемых выборок)

Fig. 4. Graph of the dependence of the tone of the image of the open surface of soils on humus reserves in a layer of 0–10 cm (the totality of all studied samples)

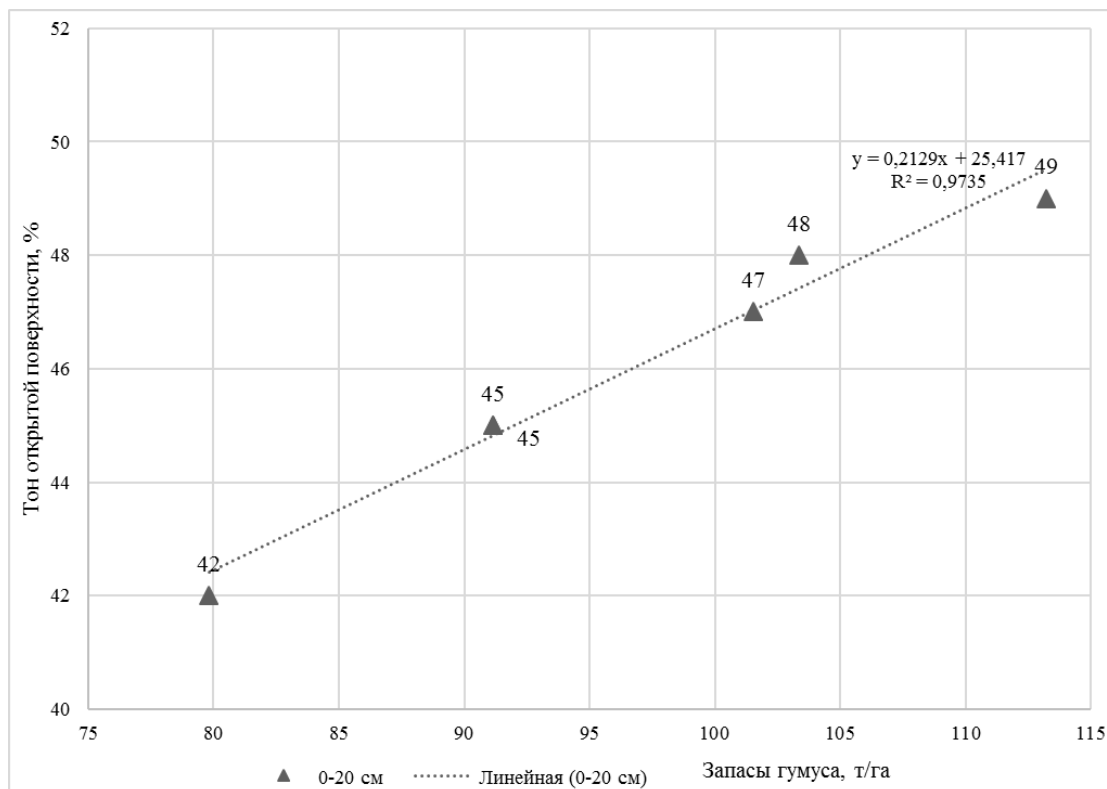


Рис. 5. График зависимости тона изображения открытой поверхности почв от запасов гумуса в слое 0–20 см (совокупность всех изучаемых выборок)

Fig. 5. Graph of the dependence of the tone of the image of the open surface of soils on humus reserves in a layer of 0–20 cm (the totality of all studied samples)

По совокупному анализу всех изучаемых выборок (на водоразделах и склонах полярных экспозиций) между тоновыми характеристиками открытой поверхности пахотных почв и запасами гумуса во всех изученных слоях почв существует прямая связь: рост запасов органического вещества почв отражается на усилении интенсивности серого тона изображения (см. рис. 4, 5). При этом теснота выявляемых связей оказалась примерно одинаковой: для слоя 0–10 см $R = 0,984$, а для слоя 0–20 см $R = 0,987$ (рис. 4, 5). Исходя из полученных данных, в исследованиях связи тоновых характеристик и запасов органического вещества пахотных почв рекомендуется использовать данные наземных наблюдений или для слоя 0–10 см или для слоя 0–20 см, так как эти слои показывают идентичную высокую корреляционную зависимость.

Гистограммы распределения тона открытой поверхности почв пашен (рис. 6–8) выполнялись по следующим комбинациям:

1) суммарная выборка значений на ровных водораздельных поверхностях с крутизной менее 2 градусов (водораздел на старопашотном участке (160 лет), водораздел на недавно освоенной пашне (100 лет), $n = 30$);

2) суммарная выборка значений на северных склонах на старопашотном угодье и на молодой пашне ($n = 35$);

3) суммарная выборка значений на южных склонах на старопашотном угодье и на молодой пашне ($n = 40$).

Степень асимметрии распределения показателя тона открытой поверхности почв может свидетельствовать либо о развитии (в случае правосторонней асимметрии), либо о затухании (в случае левосторонней асимметрии) процесса.

В нашем случае, анализ гистограмм распределения тона открытой поверхности почв на как на водоразделах, так и на склонах разных экспозиций говорит о существовании правосторонней асимметрии распределения показателя (см. рис. 6–8).

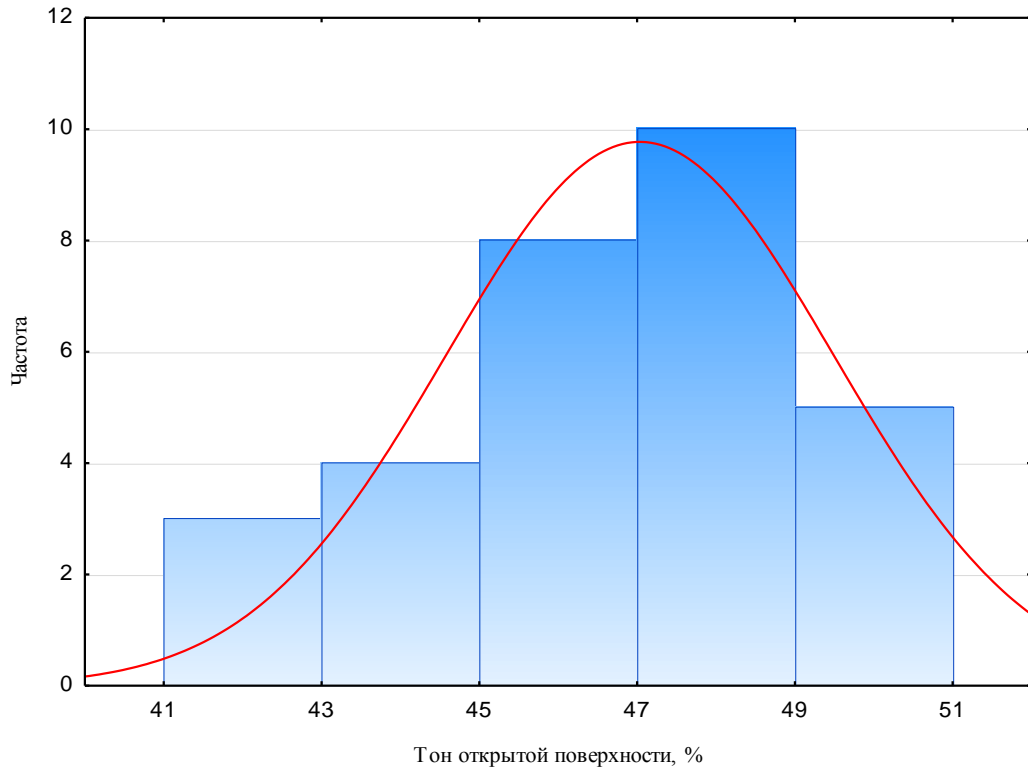


Рис. 6. Гистограммы распределения тона изображения открытой поверхности почв на водоразделах: обобщенная выборка «старая пашня (160 лет) – молодая пашня (100 лет)» (n = 30)
Fig. 6. Histograms of the tone distribution of the image of the open surface of soils on watersheds: generalized sample "old arable land (160 years) – young arable land (100 years)" (n = 30)

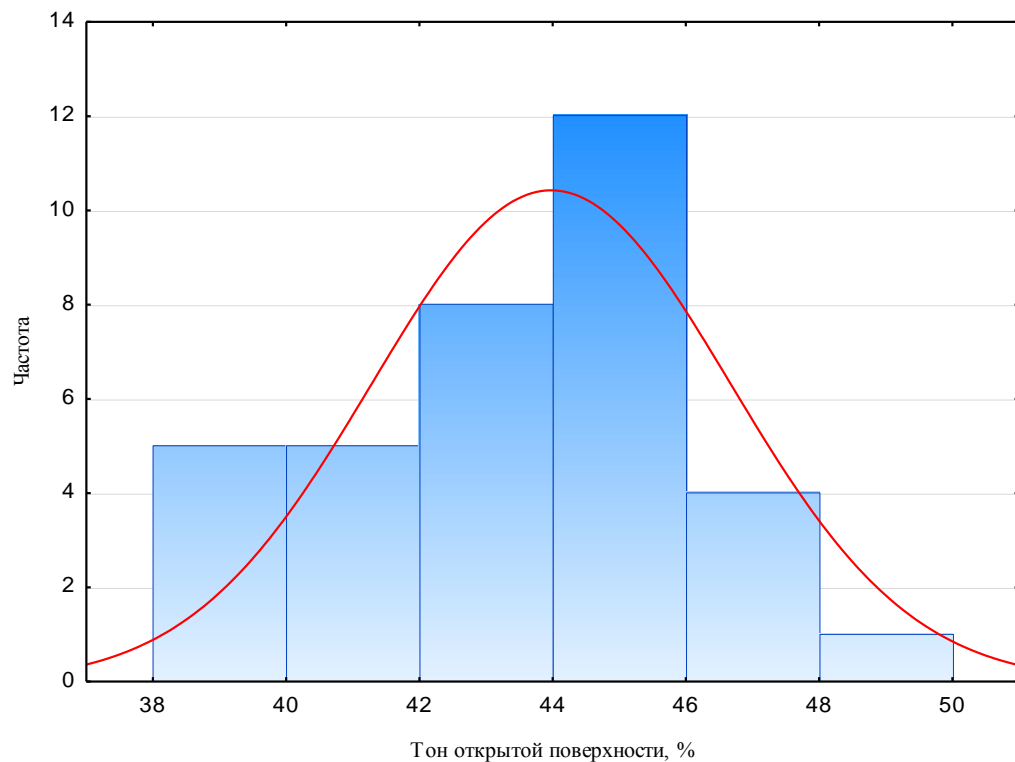


Рис. 7. Гистограммы распределения тона изображения открытой поверхности почв на северных склонах: обобщенная выборка «старая пашня (160 лет) – молодая пашня (100 лет)» (n = 35)
Fig. 7. Histograms of the tone distribution of the image of the open soil surface on the northern slopes: generalized sample "old arable land (160 years) – young arable land (100 years)" (n = 35)

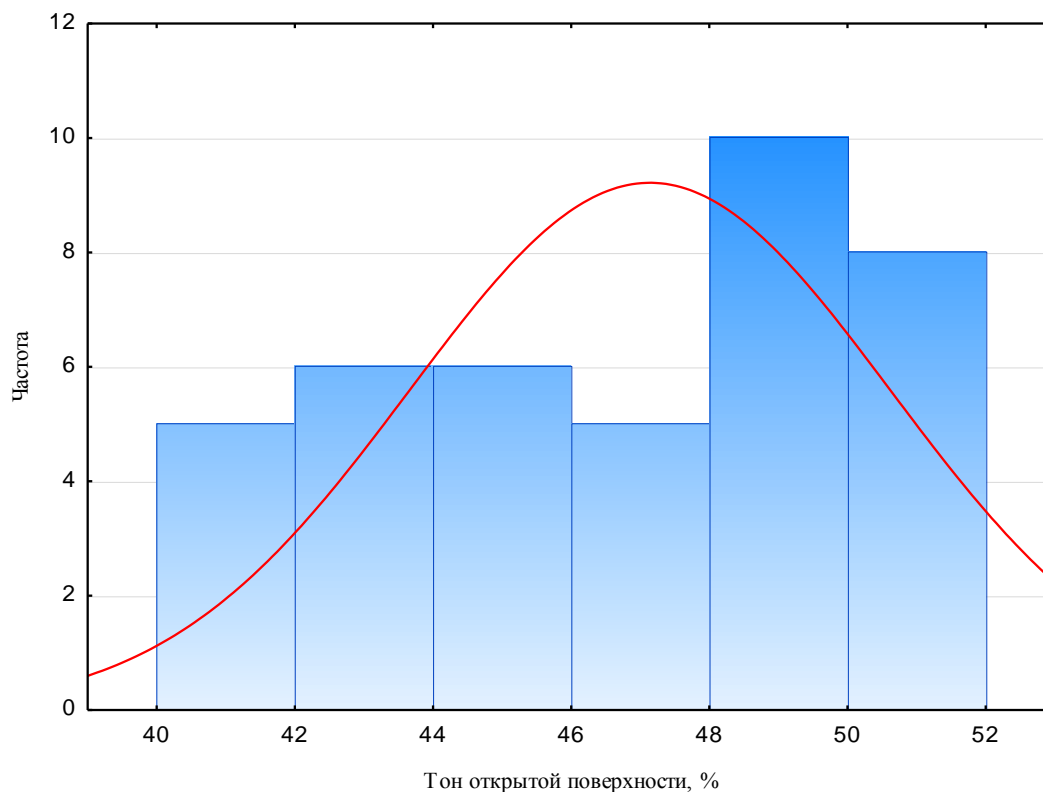


Рис. 8. Гистограммы распределения тона изображения открытой поверхности почв на южных склонах: обобщенная выборка «старая пашня (160 лет) – молодая пашня (100 лет)» (n = 40)
Fig. 8. Histograms of the tone distribution of the image of the open surface of soils on the southern slopes: the generalized sample "old arable land (160 years) – young arable land (100 years)" (n = 40)

Наличие правосторонней асимметрии свидетельствует о развитии процесса повышения гумусированности, т. е. наблюдается характерный сдвиг значений тона в сторону больших значений. Это, на наш взгляд, выступает очередным подтверждением предположения о трансформации серых лесных почв в более гумусированные черноземы в результате их длительной распашки, что ранее обсуждалось в литературе [Чендев 2008; Чендев и др., 2011].

В частности, было обосновано, что гумус пахотных горизонтов серых лесных почв лесостепи Белгородской области омолаживается (это показывают радиоуглеродные датировки гумуса) за счет пополнения его резерва свежими порциями гумифицированного органического вещества в результате трансформации перегнивающих остатков корней и стерни культурных растений [Чендев и др. 2011].

В отличие от установленного тренда повышения гумусированности староосвоенных серых лесных почв, при освоении лесостепных черноземов в них выявляется однонаправленное во времени снижение содержания и запасов органического вещества, что неоднократно подтверждалось наземными исследованиями и наблюдениями [Чендев и др., 1998; Чендев, Авилов, 2000; Чендев, Лукин, 2005]. Работа по сравнительному анализу тона изображения открытой поверхности пахотных черноземов разных сроков освоения на космоснимках и запасов в них гумуса – предмет отдельного исследования.

Заключение

Обоснована возможность комплексного использования данных наземных исследований и спутниковой информации при исследовании содержания и запасов в почвах органического вещества.



На территории широколиственно-лесного ландшафта лесостепи (Белгородская область, участок «Батрацкая дача») сравнительный анализ тона изображения открытой поверхности пахотных почв на спутниковом снимке и содержания/запасов в них гумуса (по результатам натуральных наблюдений) свидетельствует о наличии на всех изучаемых полигонах высокой корреляционной связи между этими показателями (коэффициент корреляции находился в диапазоне значений 0,68–1).

Правосторонняя асимметрия распределения тоновых неоднородностей изображения открытой поверхности изученных пахотных почв выступает свидетельством роста их гумусированности во времени, т. е. процесса проградации пахотных почв – серых лесных в черноземы.

Полученные результаты могут быть использованы в системе мониторинга состояния земель и прогнозирования их гумусового состояния в целях более рационального землепользования.

Благодарности

Автор выражает благодарность научному руководителю, доктору географических наук, профессору Чендеву Ю.Г. за консультативную поддержку на всех этапах проведения данного исследования.

Список литературы

- Аэрокосмические методы в почвоведении и их использование в сельском хозяйстве. 1990. М., Наука, 247 с.
- Дмитриев Е.А. 1995. Математическая статистика в почвоведении. М., Изд-во МГУ, 326 с.
- Мальшевский В.А., Федулов Ю.П., Островский Н.В., Лебедевский И.А. 2013. Расчет содержания гумуса с использованием данных дистанционного зондирования Земли. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета, 92: 859–883.
- Подколзин О.А., Есаулко А.Н. 2008. Опыт мониторинга сельскохозяйственных земель с использованием дистанционного зондирования земли на Ставрополье. Проблемы агрохимии и экологии, 3: 32–34.
- Савин И.Ю. 2013. О тоне изображения открытой поверхности почв как прямом дешифровочном признаке. Бюллетень почвенного института им. В.В. Докучаева, 71: 52–64.
- Савин И.Ю., Чендев Ю.Г. 1994. Изменение во времени содержания гумуса в пахотных лесостепных почвах. Почвоведение, 5: 88–92.
- Савин И.Ю., Прудникова Е.Ю. 2014. Об оптимальном сроке спутниковой съемки для картографирования пахотных почв. Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева, 74: 66–77.
- Савин И.Ю. 1990. Дешифрирование почвенного покрова лесостепи Центрально-Черноземного района по среднemasштабным космическим снимкам. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Москва, 27 с.
- Степанов С.Ю., Петров Я.А., Вагизов М.Р., Сидоренко А.Ю. 2020. Мониторинг данных дистанционного зондирования земли по данным спутника Landsat. Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право, 1 (37): 206–216.
- Тютюнов С. И., Карабутов А. П. 2017. Поведение гумуса в черноземе типичном в связи с различным уровнем интенсивности использования пашни. Инновации в АПК: проблемы и перспективы, 4 (16): 74–83.
- Чендев Ю.Г. 2008. Эволюция лесостепных почв Среднерусской возвышенности в голоцене. Москва, ГЕОС, 212 с.
- Чендев Ю.Г., Авраменко П.М., Лищуков С.Д. 1998. Изменение гумусового состояния пахотных почв Белгородской области. Агрохимия, 6: 12–20.
- Чендев Ю.Г., Авилов Н.П. 2000. Содержание и запасы гумуса в черноземах разновозрастных пашен. Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук, 5: 22–25.

- Чендев Ю.Г., Лукин С.В. 2005. Влияние длительной распашки на свойства лесостепных и степных черноземов. Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук, 1: 37–39.
- Чендев Ю.Г., Александровский А.Л., Хохлова О.С., Смирнова Л.Г., Новых Л.Л., Долгих А.В. 2011. Антропогенная эволюция серых лесостепных почв южной части Среднерусской возвышенности. Почвоведение, 1: 3–15.
- Hartemink A.E., McBratney A.B., Mendonça-Santos M.L. 2008. Digital Soil Mapping with Limited Data. Netherlands, Springer, 446 p.
- Minasny B., McBratney A.B., 2015. Digital soil mapping: A brief history and some lessons. Geoderma, 264: 301–311. DOI: 10.1016/j.geoderma.2015.07.017.
- Journel A.G. 1986. Geostatistics: Models and Tools for the Earth Sciences. Mathematical Geology, 18: 119–140. DOI: 10.1007/BF00897658.
- Tiwari S., Saha S., Kumar S., 2015. Prediction Modeling and Mapping of Soil Carbon Content Using Artificial Neural Network, Hyperspectral Satellite Data and Field Spectroscopy. Advances in Remote Sensing, 4: 63–72. DOI: 10.4236/ars.2015.41006.

References

- Aerokosmicheskie metody v pochvovedenii i ikh ispol'zovanie v sel'skom khozyaystve [Aerospace methods in soil science and their use in agriculture]. 1990. Moscow, Publ. Nauka, 247 p.
- Dmitriev E.A. 1995. Matematicheskaya statistika v pochvovedenii [Mathematical statistics in soil science]. Moscow, Publ. MGU, 320 p.
- Maleychevskiy V.A., Fedulov Y.P., Ostrovskiy N.V., Lebedovskiy I.A. 2013. Humus Content Calculation the Method with Use of Remote Sensing of the Earth. Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University, 92: 859–883 (in Russian).
- Podkolzin O.A., Esaulko A.N. 2008. Experience of monitoring of farmlands with use remote sounding of the earth to Stavropol Territory. Problemy Agrohimii i Ekologii, 3: 32–34 (in Russian).
- Savin I.Yu. 2013. Open Soil Surface Brightness as a Direct Sign for Soil Recognition on Landsat Images. Dokuchaev Soil Bulletin, 71: 52–64 (in Russian).
- Savin I.Yu., Chendev Yu.G. 1994. Izmenenie vo vremeni sodержaniya gumusa v pakhotnykh lesostepnykh pochvakh [Time Changes in Humus Content in Arable Forest-Steppe Soils]. Pochvovedenie, 5: 88–92.
- Savin I.Yu., Prudnikova E.Yu. 2014. About Optimal Dates of Satellite Images Acquisition for Arable Soil Mapping. Dokuchaev Soil Bulletin, 74: 66–77 (in Russian).
- Savin I.Yu. 1990. Deshifrirovaniye pochvennogo pokrova lesostepi Tsentral'no-Chernozemnogo rayona po srednemasshtabnym kosmicheskim snimkam [Interpretation of the soil cover of the forest-steppe of the Central Chernozem region on the basis of medium-scale satellite images]. Abstract. dis. ... cand. geogr. sciences. Moscow, 27 p.
- Stepanov S.Y., Petrov Y.A., Vagizov M.R., Sidorenko A.Y. 2020. Monitoring of Remote Sensing Data From the Landsat Satellite. Informatsionnye tekhnologii i si-stemy: upravlenie, ekonomika, transport, pravo, 1 (37): 206–216 (in Russian).
- Tyutyunov S.I., Karabutov A.P. 2017. Behavior of Humus in Chernozem Typical in Connection with Various Level of Intensity of Use of Powder. Innovations in Agricultural Complex: problems and perspectives, 4 (16): 74–83 (in Russian).
- Chendev Yu.G. 2008. Evolyutsiya lesostepnykh pochv Srednerusskoy vozvysheynosti v golotsene [Evolution of forest-steppe soils of the Central Russian Upland in the Holocene]. Moscow, Publ. GEOS, 212 p.
- Chendev Yu.G., Avramenko P.M., Lishchukov S.D. 1998. Izmenenie gumusovogo sostoyaniya pakhotnykh pochv Belgorodskoy oblasti [Changes in the humus state of arable soils in the Belgorod region]. Agrokimiya, 6: 12–20.
- Chendev Yu.G., Avilov N.P. 2000. Soderzhanie i zapasy gumusa v chernozemakh raznovozrastnykh pashen [The content and reserves of humus in the chernozems of arable lands of different ages]. Doklady Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk, 5: 22–25.
- Chendev Yu.G., Lukin S.V. 2005. Vliyanie dlitel'noy raspashki na svoystva lesostepnykh i stepnykh chernozemov [The influence of long-term plowing on the properties of forest-steppe and steppe chernozems]. Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk, 1: 37–39.



- Chendev Yu.G., Novykh L.L., Aleksandrovskii A.L., Dolgikh A.V., Khokhlova O.S., Smirnova L.G. 2011. Anthropogenic Evolution of Dark Gray Forest-Steppe Soils in the Southern Part of the Central Russian Upland. *Eurasian Soil Science*, 44 (1): 1–12 (in Russian). DOI: 10.1134/S1064229311010030.
- Hartemink A.E., McBratney A.B., Mendonça-Santos M.L. 2008. *Digital Soil Mapping with Limited Data*. Netherlands, Springer, 446 p.
- Minasny B., McBratney A.B., 2015. Digital soil mapping: A brief history and some lessons. *Geoderma*, 264: 301–311. DOI: 10.1016/j.geoderma.2015.07.017.
- Journel A.G. 1986. Geostatistics: Models and Tools for the Earth Sciences. *Mathematical Geology*, 18: 119–140. DOI: 10.1007/BF00897658.
- Tiwari S., Saha S., Kumar S., 2015. Prediction Modeling and Mapping of Soil Carbon Content Using Artificial Neural Network, Hyperspectral Satellite Data and Field Spectroscopy. *Advances in Remote Sensing*, 4: 63–72. DOI: 10.4236/ars.2015.41006.

Поступила в редакцию 21.03.2022;

поступила после рецензирования 20.04.2022;

принята к публикации 17.05.2022

Received March 21, 2022;

Revised April 20, 2022;

Accepted May 17, 2022

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Бек Анастасия Николаевна, аспирант кафедры природопользования и земельного кадастра института наук о Земле, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Anastasia N. Bek, Postgraduate Student of the Department of Natural Resources and Land Cadastre of the Institute of Earth Sciences of the Belgorod National Research University, Belgorod, Russia