

УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2021-106-163-175



Ссылки для цитирования:

Савич В.И., Гукалов В.В., Сорокин А.Е., Конах М.Д. Агроэкологическая оценка взаимосвязей свойств почв во времени и в пространстве // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2021. Вып. 106. С. 163-175. DOI: 10.19047/0136-1694-2021-106-163-175

Cite this article as:

Savich V.I., Gukalov V.V., Sorokin A.E., Konakh M.D., Agroecological evaluation of interrelationships of soil properties in time and space, Dokuchaev Soil Bulletin, 2021, V. 106, pp. 163-175, DOI: 10.19047/0136-1694-2021-106-163-175

Агроэкологическая оценка взаимосвязей свойств почв во времени и в пространстве

© 2021 г. В. И. Савич^{1*}, В. В. Гукалов^{2**}, А. Е. Сорокин^{3***},
М. Д. Конах^{1****}

¹РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, Россия,
127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49,

*e-mail: savich.mail@gmail.com,

****e-mail: marinakonah.mk@gmail.com.

²Северо-Кубанская сельскохозяйственная опытная станция – филиал
ФГБНУ “Национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко”, Россия,
353610, Краснодарский край, Ленинградский р-н,

ст. Ленинградская, ул. Хлеборобов, 301 а,

**e-mail: champion1985@yandex.ru.

³Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет), Россия,
125993, Москва, Волоколамское шоссе, 4,

***e-mail: mai614@mail.ru.

Поступила в редакцию 06.08.2020, после доработки 28.01.2021,
принята к публикации 15.03.2021

Резюме: В работе оценены взаимосвязи физико-химических и агрохимических свойств дерново-подзолистых почв Московской области и черноземов обыкновенных тяжелосуглинистых Краснодарского края в пределах катен и по почвенному профилю. Свойства почв существенно

изменялись в сезонной динамике. Так, с конца апреля до середины июня в почвенном растворе дерново-подзолистых почв величина Eh изменялась от 534 до 759 мВ, отношение NO_3/NH_4 – от 0.2 до 15.4; содержание водорастворимого марганца – от 4.0 до 10.1. При этом проявлялось запаздывание изменения свойств почв в зависимости от влажности и температуры и изменения одних свойств почв в зависимости от других. Показано, что в разных интервалах свойств почв между отдельными показателями плодородия проявляются эффекты синергизма и антагонизма. Степень взаимовлияния свойств почв зависела как от степени удобрения почв, так и от степени их окультуренности. Информационные взаимосвязи проявлялись не только между свойствами почв, но и между протекающими процессами. Так, временное избыточное увлажнение почв приводило при промывном типе водного режима к подкислению почв, а при непромывном – к подщелачиванию. Показано отличие этих взаимосвязей для почв, развитых на разных элементах катены, почв разной степени окультуренности, оподзоленности, оглеенности. Отмечено, что во взаимосвязях свойств почв проявляются эффекты синергизма и антагонизма, статического и динамического гистерезиса. Они изменяются при разном чередовании воздействия внешних факторов и процессов почвообразования на почву. Предлагается учитывать взаимосвязи свойств почв с влажностью, температурой, pH, Eh для корректировки составляющих систем земледелия.

Ключевые слова: почва, взаимосвязи, корреляция, генезис, плодородие.

Agroecological evaluation of interrelationships of soil properties in time and space

V. I. Savich^{1*}, V. V. Gukalov^{2}, A. E. Sorokin^{3***},
M. D. Konakh^{1****}**

¹*Russian State Agrarian University -
Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
49 Timiryazevskaya str., Moscow 127550, Russian Federation,
e-mail: savich.mail@gmail.com,

*****e-mail: marinakonah.mk@gmail.com.*

²*North-Kuban Agricultural Experimental Station of P.P. Lukyanenko
Krasnodar Research and Development Institute of Agriculture,
301 a Khleborobov str., Leningradskaya settlement,*

Krasnodar territory 353742, Russian Federation,

*** e-mail: chempion1985@yandex.ru.*

*³Moscow Aviation Institute (National Research University),
4 Volokolamskoe шоссе, 125993 Moscow, Russian Federation,*

**** e-mail: mai614@mail.ru.*

Received 06.08.2020, Revised 28.01.2021, Accepted 15.03.2021

Abstract: This paper assesses the relationship between the physico-chemical and agro-chemical properties of sod-podzolic soils in the Moscow region and ordinary heavy-loamy chernozems in the Krasnodar region within the catenas and down the soil profile. Soil properties changed significantly through seasonal dynamics. From the end of April to the middle of June in the soil solution of sod-podzolic soils, the value of Eh varied from 534 to 759 mv, the ratio of NO_3/NH_4 – from 0.2 to 15.4; the content of water-soluble manganese – from 4.0 to 10.1. At the same time, there was a delay in change of soil properties, as humidity and temperature varied. It is shown that in different intervals of soil properties between individual indicators of fertility, the effects of synergism and antagonism are manifested. The degree of mutual influence of soil properties depended on both the degree of soil fertilization and the degree of their cultivation. Information relationships were manifested not only between the soil properties, but also between the processes. Temporary excessive moistening of the soil led to acidification of the soil in the washing type of water mode, and to alkalization in the non-washing type. It is proposed to account for the relationship of soil properties with humidity, temperature, pH, and Eh to adjust the components of farming systems.

Keywords: soil, relationships, correlation, genesis, soil fertility.

ВВЕДЕНИЕ

Взаимосвязи между свойствами почв в значительной степени определяют их агроэкологическое состояние и являются индикатором генезиса и классификационной принадлежности почв. Их изучению посвящено значительное количество исследований ([Безуглова и др., 2000](#); [Воробьева, 1986](#); [Гришин, 1998](#); [Полуэктов, 1993](#); [Фрид, 2008](#)). Однако эти взаимосвязи отличаются не только для типов почв, но и для таксономических единиц более низкого иерархического уровня. Во взаимосвязях нескольких свойств почв проявляются эффекты синергизма и антагонизма. К сожалению, эти вопросы изучены недостаточно.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования выбраны дерново-подзолистые среднесуглинистые почвы Московской области, развитые на покровных суглинках ([Духанин и др., 2006](#); [Замараев и др., 2005](#)), и обыкновенные глинистые карбонатные черноземы Краснодарского края ([Гукалов и др., 2015](#); [Гукалов и др., 2019](#)).

Методика исследования состояла в определении физико-химических и агрохимических свойств почв методами, рекомендованными агрохимической службой ([Замараев и др., 2005](#); [Кулаковская, 1998](#)), оценка взаимосвязей между свойствами почв ([Безуглова и др., 2000](#); [Воробьева, 1986](#); [Гришин, 1998](#); [Полужков, 1993](#); [Седых и др., 2014](#)) осуществлялась с вычислением уравнений парной корреляции, уравнений регрессии. Принятый уровень вероятности – 0.95.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Свойства почв взаимосвязаны друг с другом, и при изменении одного свойства почвы изменяются и другие. Эти закономерности характерны для отдельных типов почв и более мелких таксономических единиц почв. Пример информативной оценки таких взаимосвязей приведен в таблице 1.

Таблица 1. Влияние pH среды на содержание водорастворимых Fe, Mn, Zn в дерново-подзолистых почвах, $n = (43-111) \cdot 10^{-5}$ моль/л

Table 1. Effect of pH on the content of water-soluble Fe, Mn, Zn in sod-podzolic soils, $n = (43-111) \cdot 10^{-5}$ mol/L

pH (H ₂ O)	Fe	Zn	Mn
5.7 ± 0.3	24.5 ± 5.9	0.10 ± 0.03	3.6 ± 0.7
7.3 ± 0.01	7.3 ± 1.6	0.05 ± 0.01	1.0 ± 0.3

Как видно из представленных данных, при увеличении pH почв уменьшается содержание подвижных форм железа, цинка, марганца, что необходимо учитывать при расчете доз извести.

Взаимосвязи между свойствами почв отличаются не только для разных типов почв, но и для разных хозяйств ([Духанин и др., 2006](#)). Так, для почв Московской области с преобладанием в хо-

зайствах дерново-подзолистых почв величина $\Delta P_2O_5/\Delta pH$ составляла при $pH = 4.6-5.6$ и содержании гумуса 1–2% в одном хозяйстве 72.3, в другом – 150.1. При $pH = 5.5-6.2$ – соответственно 316.7 и 79.4.

С нашей точки зрения, целесообразно рассчитывать дозы извести не только для изменения pH , но и для оптимизации содержания в почвах биофильных элементов, микробиологической активности и т. д.

Отличие взаимосвязей свойств почв в пределах катены

Почвы катены любой почвенно-климатической зоны существенно отличаются на плато, склоне и в депрессиях. Это определяет и отличие взаимосвязей почв в отдельных элементах катены. Иллюстрацией данного заключения являются и полученные нами данные, представленные в таблице 2.

На отдельных элементах катены отличаются и коэффициенты корреляции содержания подвижных форм тяжелых металлов и свойств почв. Так, для катены обыкновенных черноземов корреляция подвижных форм тяжелых металлов с гумусом колебалась от 0.88 ± 0.02 в аккумулятивном рельефе до 0.68 ± 0.10 – на южном склоне. Корреляция содержания тяжелых металлов с физической глиной колебалась от -0.48 ± 0.06 на северном плато до -0.04 ± 0.02 – на северном склоне.

Как видно из представленных данных, зависимость содержания подвижного цинка (в вытяжке CH_3COONH_4 с $pH = 4.8$) от свойств почв отличается в почвах разных элементов катены. Положительная зависимость от P_2O_5 больше в почве северного водораздела. Положительная зависимость подвижного цинка от содержания гумуса больше в почве южного водораздела, положительная зависимость от физической глины больше в почвах северного и южного водоразделов ([Гукалов и др., 2015](#)).

Свойства почв и взаимосвязи между ними отличаются в эродированных и намытых почвах, что иллюстрируют данные таблицы 3.

Таблица 2. Зависимость содержания подвижного цинка от сочетания свойств почв обыкновенного чернозема в пределах катены

Table 2. Dependence of the content of mobile zinc on the combination of properties of soils of ordinary chernozem within catena

Элемент катены	Уравнение регрессии	r	F
южный водораздел	$Zn = 57.0 + 4.0X_1 + 0.16X_2 - 0.7X_3 + 0.45X_4 + 0.12X_5$	0.86	2.4
северный водораздел	$Zn = 66.8 + 1.1X_1 + 0.2X_2 - 1.1X_3 + 0.03X_4 + 0.62X_5$	0.99	5.2
южный склон	$Zn = 2.4 + 0.2X_1 + 0.01X_2 + 0.02X_3 - 0.02X_4 + 0.05X_5$	0.96	10.8
северный склон	$Zn = 1.4 + 0.4X_1 + 0.03X_2 + 0.02X_3 - 0.04X_4 + 0.03X_5$	0.99	62.7
балка	$Zn = 5.4 + 0.1X_1 - 0.03X_2 + 0.17X_3 - 0.2X_4 + 0.02X_5$	0.99	15.5

Примечание. X_1 – гумус, %; X_2 – содержание частиц <0.1 мм; X_3 – NO_3 ; X_4 – NH_4 ; X_5 – содержание подвижных форм P_2O_6 .

Таблица 3. Отличие взаимосвязей между свойствами почв в смытых и намытых дерново-подзолистых почвах (A_n)

Table 3. Distinction of interrelations between soil properties in eroded and accumulated sod-podzol soils in plough layer (A_n)

Почва	pH	S мг-экв/ 100 г	V, %	Гумус, %	P_2O_5 , мг/100 г	K_2O , мг/100 г
средне-смытая	4.3	9.2	69.2	1.8	12.5	5.0
намытая	5.1–5.2	16.6	88.6	2.2	25.0	2.5
	6.1	16.8	94.9	2.0	2.5	10.0

Отличие взаимосвязей в отдельных горизонтах как индикатор генезиса и плодородия почв

Свойства почв существенно отличаются в отдельных горизонтах почвенного профиля, что важно учитывать при разработке приемов оптимизации плодородия почв ([Гукалов и др., 2020](#); [Гукалов и др., 2019](#)). Так, по полученным нами данным, в дерново-

подзолистых почвах в A_{II} величина pH была 5.2 ± 0.2 , содержание подвижных фосфатов – 16.8 ± 1.9 , содержание обменного калия – 9.9 мг/100 г; а в подпахотном слое pH = 3.8 ± 0.1 ; содержание P_2O_5 – 8.2 ± 0.6 мг/100 г, K_2O – 5.4 ± 0.5 мг на 100 г.

Как видно из представленных данных, подпахотные слои резко отличаются по pH от пахотного слоя. Кислая реакция среды подпахотного слоя неблагоприятна для развития растений и приводит к резкому уменьшению содержания подвижных фосфатов и обменного калия в этом слое по сравнению с A_{II} . В ряде стран принято известкование подпахотного горизонта.

В намытых почвах величина pH в A_{II} составляла 5.2 ± 0.3 , содержание подвижных фосфатов – 16.8 ± 5.3 мг/100 г, в подпахотном слое величина pH составляла 4.2 ± 0.2 , содержание подвижных фосфатов – 13.5 ± 1.8 мг/100 г. В намытых почвах уменьшение содержания P_2O_5 в подпахотном слое, по сравнению с пахотным, наименее резко выражено, чем в автоморфных почвах.

Изменение взаимосвязей свойств почв в сезонной динамике

Свойства почв и взаимосвязи между ними существенно изменяются в сезонной динамике. Это иллюстрируют данные следующей таблицы (табл. 4).

Как видно из представленных данных, свойства почв в течение вегетационного периода существенно меняются (pH – от 4.2 до 8.5; Eh – от 534 до 759 мВ по ХСЭ). Это приводит к изменению других свойств почв. Максимальное значение Eh соответствует максимальному отношению $N-NO_3/N-NH_4$, максимальному содержанию $N-NO_3$. Низкие значения Eh соответствуют максимальному значению Mn^{2+} .

Синергизм и антагонизм взаимовлияния свойств почв при эффектах последовательных корреляций

При протекании последовательных реакций проявляется синергизм и антагонизм ионов в процессах комплексобразования, ионного обмена, осадкообразования в почвах и в корневых системах растений. Как правило, это сочетается с кинетическим и ста-

тическим гистерезисом, зависящим от плотности заряда сорбционных мест и их конфигурации. При поглощении ППК одного иона происходит изменение плотности заряда других сорбционных мест – проявляется индуктивный и мезомерный эффект (Гукалов и др., 2019). В конечном счете протекание последовательных реакций определяется изменением состояния вещества, энергии и информации. Движущей силой процессов является как изменение ΔG , так и изменение ΔH и ΔS .

Таблица 4. Изменение содержания водорастворимых NO_3 , NH_4 , Mn, Fe от величины pH и Eh почвенных растворов в дерново-подзолистой почве в сезонной динамике (площадка 1)

Table 4. Changes in the seasonal dynamics of water-soluble NO_3 , NH_4 , Mn, Fe content depending on the pH value and Eh of soil solutions in sod-podzolic soil (experimental site 1)

Показатели	29.IV	4.V	11.V	14.V	21.5	25.V	29.V	1.VI	10.VI
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Eh	659	629	661	759	744	687	565	581	534
rH ₂	32.6	30.2	34.2	37.2	36.8	34.8	30.8	30.8	29.2
N-NH ₄	4.0	5.8	10.2	15.4	2.2	0.2	0.7	1.4	0.9
N-NO ₃	7.1	6.8	9.1	10.0	2.3	1.5	0.7	1.1	1.1
Mn ²⁺	4.1	7.7	6.6	4.7	6.1	6.8	10.1	4.0	8.9
Fe ₂ O ₃	51.5	54.5	39.2	29.7	42.5	41.0	49.4	40.5	59.9
Fe ³⁺ /Fe ²⁺	2.8	3.6	1.9	3.0	3.8	3.9	2.3	5.7	6.3
pH	4.9	4.2	5.5	6.5	5.6	5.6	5.7	5.4	5.4

Например, увеличение pH почв от 4.5 до 5.5 приводит к увеличению подвижности фосфатов, а при изменении от 6.0 до 8.0 – к уменьшению их подвижности. При этом увеличение pH почв от 4.2 до 5.5 сопровождается уменьшением содержания подвижных форм железа, марганца, алюминия, а также увеличением подвижности фосфатов, т. е. $[\text{Fe}, \text{Al}, \text{Mn}] = f(\text{pH})^{-1}$, P_2O_5 в этом интервале = $f(\text{Fe}, \text{Al}, \text{Mn})^{-1}$ (Никиточкин и др., 2015; Панов и др., 2014).

Взаимовлияние проявляется не только между свойствами почв, но и между протекающими в почвах процессами и режимами ([Никиточкин и др., 2015](#); [Панов и др., 2014](#); [Савич и др., 2019](#); [Седых и др., 2014](#)).

Увеличение содержания в почве подвижных фосфатов уменьшает содержание подвижных форм железа, марганца, цинка, никеля. Так, по полученным нами данным, при содержании гумуса в дерново-подзолистых почвах 1.2% и $P_2O_5 = 4.8 \pm 1.5$ мг/100 г содержание марганца в почвенном растворе составляло $(0.3 \pm 0.21) \cdot 10^{-5}$ моль/л; а при содержании $P_2O_5 = 24.5 \pm 1.8$ мг/100 г – соответственно $(0.03 \pm 0.03) \cdot 10^{-5}$ моль/л.

При большем содержании гумуса в почвах (1.8%) отмечается аналогичная тенденция. Например, при содержании $P_2O_5 = 4.6 \pm 0.9$ и 55.4 ± 20.1 мг/100 г содержание водорастворимого Mn составляло соответственно $(1.4 \pm 0.4) \cdot 10^{-5}$ и $(0.3 \pm 0.2) \cdot 10^{-5}$ моль/л.

Оглеение почв приводит к существенному изменению подвижности элементов в почвах. Согласно литературным данным, при $Eh = 400$ мВ Mn^{4+} переходит в Mn^{2+} , а при 300 мВ – Fe^{3+} в Fe^{2+} , что сопровождается увеличением подвижности Fe и Mn в почвах. Таким образом, полученные авторами данные свидетельствуют о том, что в автоморфной дерново-подзолистой почве содержание подвижных форм Fe и Mn (в вытяжке CH_3COONH_4 с pH = 4.8) в A_2 , $A_2B + B$ составляло 7.7 ± 1.3 , 7.0 ± 1.9 мг/л и 0.9 ± 0.2 , 0.7 ± 0.1 мг/л соответственно. В оглеенной почве концентрация Fe в A_2 , A_2B и в B составляла 40.2 ± 26.2 и 30.3 ± 14.9 мг/л; а Mn – 3.6 ± 0.3 и 2.7 ± 0.7 мг/л.

Степень взаимовлияния свойств почв зависит от плодородности почв. Действительно, по результатам исследований ([Гукалов и др., 2019](#)), в дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах без внесения NPK и при внесении NPK зависимость содержания гумуса от pH была представлена соответственно следующими коэффициентами корреляции – 0.43 и 0.64; зависимость содержания фосфора от pH – 0.49 и 0.75; зависимость содержания подвижного калия от pH – 0.13 и 0.7; зависимость подвижного фосфора от гумуса – 0.48 и 0.61; зависимость содержания обменного калия от гумуса – 0.32 и 0.47 соответственно.

Степень удобренности почв коррелирует и с зависимостью урожая от свойств почв. Например, по полученным экспериментальным данным, коэффициенты корреляции урожая озимой пшеницы на дерново-подзолистых почвах составляли для контроля и + NPK соответственно: $Y = f(\text{pH}) - 0.74$ и 0.87 ; $Y = f(\text{S}) - 0.46$ и 0.80 ; $Y = f(\text{P}_2\text{O}_5) - 0.63$ и 0.71 ; $Y = f(\text{K}_2\text{O}) - 0.37$ и 0.83 ; $Y = f(\text{гумус}) - 0.15$ и 0.20 .

Реакция среды (pH) почв зависит от суммы поглощенных оснований и от содержания гумуса (%). Однако для дерново-подзолистых почв таежно-лесной зоны при большем содержании гумуса и $C_{\text{гк}}/C_{\text{фк}} < 0.7$ увеличение содержания гумуса приводит к более интенсивному развитию подзолообразования, но чаще в подпахотных слоях. Это подтверждают и полученные нами данные. В слабокультуренной дерново-подзолистой почве $\text{pH} = 0.035 \cdot \text{S} + 0.06 \cdot \Gamma + 4.1$, а в хорошо окультуренных – $\text{pH} = 0.057 \cdot \text{S} - 0.15 \cdot \Gamma + 5.4$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Взаимосвязи свойств почв во времени и в пространстве влияют на выбор оптимальных вариантов – составляющих систем земледелия (севооборотов, удобрений и обработки). Так, увеличение pH среды выше 6.0 в дерново-подзолистых почвах приводит к уменьшению подвижности микроэлементов – Fe, Zn, Mn. Зафосфачивание почв также сопровождается уменьшением подвижности этих катионов. Взаимосвязи свойств почв изменяются по почвенному профилю, в пределах катены, в сезонной динамике и служат индикатором протекающих в почвах процессов и формирующихся режимов. Для повышения эффективности систем земледелия необходима оптимизация свойств почв не только пахотного, но и подпахотного слоев, корректировка приемов воздействия на почву с учетом взаимосвязей свойств почв и их изменения при антропогенном воздействии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безуглова О.С., Юдина Н.В. Взаимосвязь физических свойств и гумусированности на черноземах юга Европейской части России // Почвоведение. 2000. № 2. С. 211–219.

2. *Воробьева Л.А.* Методические указания по расчету диаграмм растворимости труднорастворимых соединений. М.: МГУ, 1986. 100 с.
3. *Гришин П.Н.* Методология системного анализа взаимосвязей почвенного плодородия: Автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. Саратов, 1998. 47 с.
4. *Гукалов В.Н., Савич В.И., Белюченко И.С.* Информационно-энергетическая оценка состояния тяжелых металлов в компонентах агроландшафта. М.: РГАУ-МСХА, ВНИИА, 2015. 400 с.
5. *Гукалов В.В., Савич В.И.* Интегральная оценка кислотно-основного состояния почв таежно-лесной и лесостепной зон. М.: РГАУ-МСХА, ВНИИА, 2019. 408 с.
6. *Гукалов В.В., Баршадская С.И., Сорокин А.Е., Савич В.И., Суккар Л.* Изменение эффективности применения минеральных удобрений на черноземах и дерново-подзолистых почвах при неоправданном увеличении их доз // *Международный Сельскохозяйственный Журнал*. 2020. № 1. С. 83–86.
7. *Гукалов В.В., Савич В.И., Панова П.Ю.* Интегральная оценка кислотно-основного состояния почв // *Международный Сельскохозяйственный Журнал*. 2019. № 3. С. 64–68.
8. *Духанин Ю.А., Савич В.И. и др.* Информационная оценка плодородия почв. М.: ФГНУ “Росинформагротех”, 2006. 476 с.
9. *Замараев А.Г., Савич В.И., Сычев В.Г.* Энергомассообмен в звене полевого севооборота. Ч. 2. М.: РГАУ-МСХА, ВНИИА, 2005. 336 с.
10. *Кулаковская Т.Н.* Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений. М.: Агропромиздат, 1998. 219 с.
11. *Никиточкин Д.Н., Савич В.И., Наумов В.Д., Байбеков Р.Ф.* Модели плодородия почв под яблоню во времени и в пространстве. М.: РГАУ-МСХА, ВНИИА, 2015. 272 с.
12. *Панов Н.П., Савич В.И., Родионова Л.П.* Экологически и экономически обоснованные модели плодородия почв. М.: РГАУ-МСХА, ВНИИА, 2014. 380 с.
13. *Полуэктов Р.А.* Динамические модели систем. СПб: Гидрометеиздат, 1993. 341 с.
14. *Савич В.И., Смаригин С.Н., Гукалов В.В.* Интегральная оценка окислительно-восстановительного состояния системы почва-растение // *Известия ТСХА*, 2019. № 4. С. 19–31.
15. *Седых В.А., Савич В.И.* Агроэкологическая оценка почвообразовательных процессов. М.: РГАУ-МСХА, ВНИИА, 2014. 400 с.
16. *Фрид А.С.* Пространственное варьирование и временная динамика плодородия почв в длительных полевых опытах. М.: РАСХН, 2008. 79 с.

REFERENCES

1. Bezuglova O.S., Yudina N.V., *Vzaimosvyaz' fizicheskikh svoystv i gumusirovannosti na chernozemakh yuga Evropeiskoi chasti Rossii* (Relationship between physical properties and humusivity in the chernozems of southern European Russia), *Pochvovedenie*, 2000, No. 2, pp. 211–219.
2. Vorob'eva L.A., *Metodicheskie ukazaniya po raschetu diagramm rastvorimosti trudnorastvorimykh soedinenii* (Methodical instructions for calculating solubility diagrams for difficult to soluble compounds), Moscow: MGU, 1986, 100 p.
3. Grishin P.N., *Metodologiya sistemnogo analiza vzaimosvyazei pochvennogo plodo-roditya: Avtoref. diss. ... dokt. s.-kh. nauk* (Methodology for the system analysis of the relationships of soil fertility, Extended abstract of Dr. agric. sci. thesis), Saratov, 1998, 47 p.
4. Gukalov V.N., Savich V.I., *Belyuchenko I.S. Informatsionno-energeticheskaya otsenka sostoyaniya tyazhelykh metallov v komponentakh agrolandshafta*, (Information and energy assessment of heavy metals in agricultural landscape components), Moscow: RGAU-MSKhA, VNIIA, 2015, 400 p.
5. Gukalov V.V., Savich V.I., *Integral'naya otsenka kislotno-osnovnogo sostoyaniya pochv taezhno-lesnoi i lesostepnoi zon* (Integral assessment of the acidic basic state of soils in taiga and forest-steppe zones), Moscow, RGAU-MSKhA, VNIIA, 2019, 408 p.
6. Gukalov V.V., Barshadskaya S.I., Sorokin A.E., Savich V.I., Sukkar L., *Izmenenie effektivnosti primeneniya mineral'nykh udobrenii na chernozemakh i dernovo-podzolistykh pochvakh pri neopravdannom uvelichenii ikh doz* (Change of efficiency of application of mineral fertilizers on chernozem and sod-podzolic soils at unjustified increase of their doses), *Mezhdunarodniy sel'skokhozyaistvenniy zhurnal*, 2020, No. 1, pp. 83–86.
7. Gukalov V.V., Savich V.I., Panova P.Yu., *Integral'naya otsenka kislotno-osnovnogo sostoyaniya pochv* (Integral assessment of the acidic basic state of soils), *Mezhdunarodniy sel'skokhozyaistvenniy zhurnal*, 2019, No. 3, pp. 64–68.
8. Dukhanin Yu.A., Savich V.I. et al., *Informatsionnaya otsenka plodoroditya pochv*, (Informational assessment of soil fertility), Moscow: FGNU "Rosinformagrotekh", 2006, 476 p.
9. Zamaraev A.G., Savich V.I., Sychev V.G., *Energomassoobmen v zvene polevogo sevooborota* (Energy and mass exchange in the field crop rotation link), Part 2, Moscow: RGAU-MSKhA, VNIIA, 2005, 336 p.

10. Kulakovskaya T.N., *Optimizatsiya agrokhimicheskoi sistemy pochvennogo pitaniya rastenii* (Optimization of the agrochemical system of soil plant nutrition), Moscow: Agropromizdat, 1998, 219 p.
11. Nikitochkin D.N., Savich V.I., Naumov V.D., Baibekov R.F., *Modeli plodorodiya pochv pod yablonyu vo vremeni i v prostranstve* (Models of soil fertility under an apple tree in time and space), Moscow: RGAU-MSKhA, VNIIA, 2015, 272 p.
12. Panov N.P., Savich V.I., Rodionova L.P., *Ekologicheski i ekonomicheski obosno-vannye modeli plodorodiya pochv* (Environmentally and economically sound soil fertility models), Moscow: RGAU-MSKhA, VNIIA, 2014, 380 p.
13. Poluektov R.A., *Dinamicheskie modeli system* (Dynamic system models), Saint-Petersburg: Gidrometeoizdat, 1993, 341 p.
14. Savich V.I., Smarygin S.N., Gukalov V.V., Integral'naya otsenka okislitel'no-vosstanovitel'nogo sostoyaniya sistemy pochva – rastenie (Integral assessment of the redox state of the soil – plant system), *Izvestiya TSKhA*, 2019, No. 4, pp. 19–31.
15. Sedykh V.A., Savich V.I., *Agroekologicheskaya otsenka pochvoobrazovatel'nykh pro-tsessov* (Agroecological assessment of soil-forming processes), Moscow: RGAU-MSKhA, VNIIA, 2014, 400 p.
16. Frid A.S., *Prostranstvennoe var'irovanie i vremennaya dinamika plodorodiya pochv v dlitel'nykh polevykh opytakh* (Spatial variation and temporal dynamics of soil fertility in long-term field experiments), Moscow: RASKhN, 2008, 79 p.