

УДК 57.044; 504.05; 631.46

UDC 57.044; 504.05; 631.46

03.00.00 Биологические науки

Biological sciences

**ИЗМЕНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО ПРИ  
ГЛЕЕВОМ ПРОЦЕССЕ (МОДЕЛЬНЫЙ ОПЫТ)**

**CHANGES IN BIOLOGICAL PROPERTIES OF  
ORDINARY BLACK SOILS AT  
GLEYSATION (MODEL EXPERIMENT)**

Кандашова Карина Андреевна  
аспирант  
РИНЦ SPIN-kod=2883-6560

Kandashova Karina Andreevna  
Postgraduate student  
RSCI SPIN-code=2883-6560

Казеев Камил Шагидуллоевич  
д.г.н., профессор  
РИНЦ Author ID=86018  
Scopus Author ID: 7005896165

Kazeev Kamil Shagidulloevich  
Dr.Sci.Geogr., professor  
RSCI Author ID=86018  
Scopus Author ID: 7005896165

Колесников Сергей Ильич  
д.с.-х.н, профессор  
РИНЦ Author ID=86019  
Scopus Author ID: 7101992493  
*Южный федеральный университет, Россия*

Kolesnikov Sergey Ilich  
Dr.Sci.Agr., professor  
RSCI Author ID=86019  
Scopus Author ID: 7101992493  
*Southern Federal University, Russia*

Представлены результаты лабораторного эксперимента по моделированию процесса оглеения на фоне застойного водного режима в черноземе обыкновенном и влиянию его на биологические свойства почв. Оглеение – сложный биохимический восстановительный процесс. Глеевый процесс реализуется при участии анаэробных микроорганизмов, наличии органического вещества и постоянном или длительном затоплении отдельных горизонтов или всего профиля почвы. В результате ряда модельных экспериментов было выявлено, что процесс глееобразования стимулирует общую численность бактерий и подавляет численность актиномицетов, микромицетов и длину грибного мицелия. Глеевый процесс понижает активность оксидоредуктаз и повышает активность гидролаз. Кроме того незначительно повышается содержание гумуса и показатель pH сдвигается в сторону нейтральной реакции среды. Происходит накопление большого количества оксида железа (II)

The article presents the results of laboratory modeling of gleyisation and its effect on the biological properties of soils with stagnant regime in ordinary black soils. Gleyisation is a complex biochemical process that occurs under oxygen reduction conditions. Anaerobic microorganisms, the presence of organic substances, and the constant or prolonged waterlogging of individual horizons or the entire soil profile promote gleyisation. Model experiments revealed that gleyisation increase the total number of bacteria and suppresses number of actinomycetes, micromycetes and growth of fungal mycelium. Gleyisation decreases the activity of oxidoreductases and increases the hydrolases activity. In addition, the second content of humus slightly increases and active acidity (pH) changes to neutral. Accumulation of large amounts of iron oxide (II) in soil is revealed

Ключевые слова: ГЛЕЕВЫЙ ПРОЦЕСС, МОДЕЛЬНЫЙ ОПЫТ, ПЕРЕУВЛАЖНЕНИЕ, МИКРОФЛОРА, ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ, ЧЕРНОЗЕМ ОБЫКНОВЕННЫЙ, ЗАСТОЙНЫЙ ВОДНЫЙ РЕЖИМ, БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ

Keywords: GLEYSATION, MODEL EXPERIMENT, WATERLOGGING, MICROFLORA, ENZYMATIC ACTIVITY, ORDINARY BLACK SOIL, STAGNANT REGIME, BIOLOGICAL PROPERTIES OF SOILS

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из важных экологических факторов, оказывающих влияние на биологическую активность почв, является переувлажнение. В степной зоне на черноземах при усилении гидроморфности и возникновении

застойно-промывного режима возможно проявление глееобразования, с последующими деградиционными изменениями почв, с эволюцией их в сторону почв, принципиально отличающихся от черноземов [8].

Реализация процесса глееобразования проходит на фоне двух различных форм гидрологического режима – застойно-промывного и застойного. Застойно-промывной режим оказывает негативное влияние на почвенный покров. Наблюдается развитие активного процесса дегградации почвенного покрова, в результате которого почвы частично или полностью утрачивают свое плодородие. В то время как в условиях застойного режима существенных дегградационных изменений почвообразующих пород не происходит. Глеевый процесс принадлежит к группе элементарных почвенных процессов. Оглеение – сложный биохимический восстановительный процесс, протекающий при переувлажнении почв в анаэробных условиях при неперменном наличии органического вещества и участии анаэробных микроорганизмов.

Термины «глей» и «глееобразование» были введены в научную терминологию Г.Н. Высоцким в 1905 году [2] для обозначения «более или менее плотной породы серого цвета с зеленоватым оттенком, формирующейся в условиях длительного переувлажнения». Он впервые указал на биохимическую природу глееобразования, установил роль превращения окисной формы железа в закисную в условиях недостатка кислорода при участии анаэробных микроорганизмов. Изменение водного режима почв, их переувлажнение (даже кратковременное), создание условий анаэробноза в почвах неизбежно активизирует процессы восстановления железа, нарушает соотношение окисленных и восстановленных форм, которые существенно различаются по своим функциональным особенностям, роли в процессах почвообразования.

Железо в почвах черноземного ряда является малоподвижным, достаточно инертным и устойчивым элементом, что определяется

геохимическими, гидрологическими и климатическими особенностями степной зоны и свойствами самих почв. Присущий почвам степей водно-воздушный режим обуславливает господство в почвах окислительной обстановки. В этих условиях преобладающей формой железа является трехвалентная. Повышению устойчивости железа в данном случае способствуют также нейтральная и слабощелочная реакция среды и присутствие в почвах карбонатов [11].

Можно считать, что устойчивость железа в черноземах, его инертность и малая подвижность определяются в первую очередь автоморфностью экосистемы. Однако в настоящее время в степных ландшафтах отмечается увеличение обводненности почвенной толщи в силу ряда причин антропогенного и природного характера [1].

В результате в степной зоне практически повсеместно отмечается подъем уровня грунтовых вод, что ведет к появлению здесь внепойменных западин (мочаров), которые, однажды возникнув, уже никогда не исчезают бесследно.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Было изучено влияние восстановительных процессов на эколого-биологические показатели чернозема обыкновенного.

Исследование выполнено в условиях лабораторного моделирования длительного затопления почв.

В качестве объекта исследования был выбран чернозем обыкновенный карбонатный южно-европейской фации среднemocный малогумусный на желто-бурых лессовидных суглинках. Отбор почвы производился на территории Ботанического сада ЮФУ.

Восстановительные процессы в черноземе были смоделированы переувлажнением с добавлением легкодоступного для микроорганизмов органического субстрата (сахарозы) для развития анаэробных процессов.

Ранее было выявлено, что простое затопление даже на очень продолжительное время не приводило к развитию оглеения в черноземах [3, 8]. Для развития анаэробных процессов необходимо дополнительное внесение органического субстрата для создания условий кислородного дефицита [2].

Контролем служил чернозем с оптимальным увлажнением (60%). Параллельно были смоделированы варианты с затоплением и оптимальным увлажнением с добавлением 1 % раствора сахарозы.

Для постановки опыта были подобраны специальные условия и сконструированы лизиметры.

Исследования эколого-биологических показателей проводили на 100 сутки от начала эксперимента. Изменения диагностировались по морфологическим показателям (окраска, структура) и контролировались измерением рН, количества солей и карбонатов и содержанием гумуса. Выявлено интенсивное изменение в почве с добавлением стимулятора в виде сахарозы, по сравнению с контрольными образцами. Уже через месяц появились сизые пятна на поверхности почвы с застойным водным режимом и добавлением сахарозы. Надпочвенный раствор приобрел рыжеватую-оранжевую окраску за счет перехода в него гидроокиси железа.

При получении аналитических данных, используемых в настоящей работе, применялась разработанная и апробированная методология исследования биологической активности [4, 5] с использованием общепринятых в почвоведении и биологии методов [4, 5, 11, 12].

Численность бактерий, актиномицетов и микроскопических грибов учитывали методом посева почвенной суспензии на плотные питательные среды. На МПА (мясо-пептонный агар) выделяли бактерии, использующие органический азот, на КАА (крахмало-аммиачный агар) — бактерии, использующие минеральный азот, и актиномицеты. Обилие

азотфиксаторов учитывали путем посева на среду Эшби. Численность грибов и сахаролитических бактерий учитывали на кислой среде Чапека.

pH почвы определяли в почвенной суспензии (почва / вода в соотношении 1/2,5) потенциметрически на иономере [4, 5]. Количество легкорастворимых солей определяли кондуктометрическим методом.

Концентрацию оксида железа (II) определяли фотометрическим методом с использованием фенонтралина.

Валовое содержание оксидов металлов и неметаллов определяли рентгенфлюорисцентным на приборе «Спектроскан Макс-GV».

Общая численность бактерий, одноклеточных водорослей и длина грибного мицелия определялись люминесцентно-микроскопическим методом на микроскопе Микмед 2, окрашиванием бактерий акридином оранжевым, а грибного мицелия – калькофлуором белым.

О ферментативной активности почв судили по активности ферментов разных классов: оксидоредуктаз - каталаза, дегидрогеназа; и гидролаз -  $\beta$ -фруктофуранозидаза (фосфатаза). Определение ферментативной активности почв основано на учете количества переработанного в процессе реакции субстрата или образования продукта реакции в оптимальных условиях температуры, pH среды, концентрации субстрата и навески почвы.

Содержание гумуса определяли по его окисляемости хромовой смесью [4, 5].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования эколого-биологических показателей проводились на 100 сутки от начала эксперимента. Каждый из процессов постоянно диагностировался по морфологическим показателям. В варианте с моделированием оглеения надпочвенный раствор приобрел оранжевую окраску за счет перехода в него гидроокиси железа, а у поверхности обнаруживались отдельные сизые пятна.

Изменение элементного состава чернозема под влиянием глееобразования в условиях застойного водного режима проявляется весьма незначительно. Происходит уменьшение доли оксида марганца в варианте с затоплением (808 мг/кг) и сочетанным воздействием затопления и сахарозы – (797 мг/кг) по сравнению с контрольным вариантом. В целом существенных систематических изменений валового состава относительно контрольного образца не обнаружено (табл.1).

Таблица 1 - Содержание оксидов металлов и неметаллов при моделировании глеевого процесса

Вариант	TiO <sub>2</sub> %	MnO мг/кг	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	CaO %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	SiO <sub>2</sub> %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O %	MgO %
Контроль	0,8	836	4,7	1,8	11,6	66,7	0,15	2,1	1,3
Затопление	0,9	808	4,7	1,8	11,6	66,4	0,15	2,1	1,3
1% сахароза	0,8	840	4,6	1,9	11,4	66,0	0,15	2,1	1,3
1% сахароза + затопление	0,8	797	4,6	1,7	11,5	66,5	0,15	2,1	1,2

При оглеении наблюдалось незначительное повышение содержания гумуса на 0,3 % по сравнению с контрольным вариантом. Повышение гумусированности почв при оглеении объясняется увеличением активности биологических процессов.

Было установлено, что добавление органического субстрата приводит к подкислению среды. рН в контрольном образце почвы составлял 8,2, в варианте с оглеением снизился до 7,7. Для естественных глеевых горизонтов характерна слабокислая или нейтральная реакция среды [1].

Концентрация восстановленного железа в варианте с сочетанным затоплением и добавлением сахарозы достигало 1800 мг/100 г почвы, что в

15 раз превышало концентрацию оксида железа (II) в контрольном образце. Простое затопление почвы приводило к повышению концентрации оксида железа до 800 мг, а внесение субстрата без затопления – до 1200 мг.

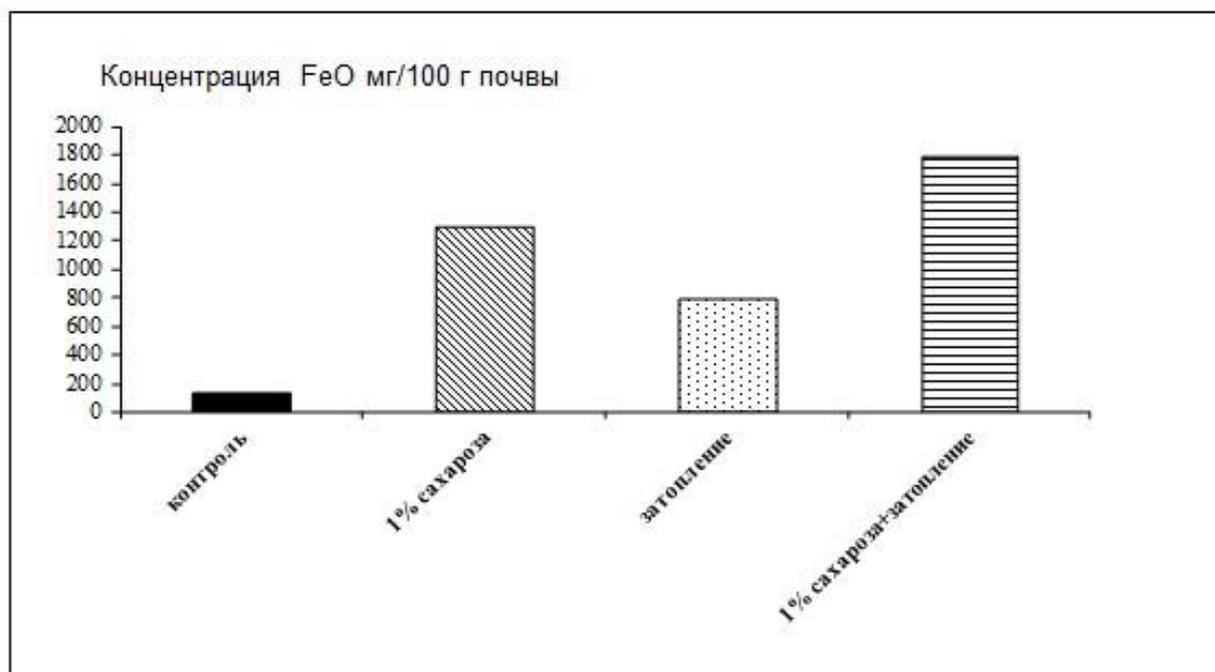


Рисунок 1. Концентрация FeO в черноземе обыкновенном при моделировании процесса оглеения

Численность аммонифицирующих бактерий значительно увеличилась в сочетанном варианте и составляла 172 млн/г, что в пять раз больше, чем в контрольном варианте.

Численность микромицетов значительно подавлялась в варианте с затоплением и составляла 27 тыс/г. В варианте с сочетанным воздействием количество микроскопических грибов уменьшилось более чем в 40 раз по сравнению с контролем.

Длина грибного мицелия варьировала от 0,014 км/г почвы в контрольном варианте и ингибировалась до 0,008 км/г почвы при оглеении.

Простое затопление практически полностью подавило численность актиномицетов, в свою очередь в варианте с затоплением раствором сахарозы актиномицеты выявлены не были.

Общая численность бактерий, определенных методом люминесцентной микроскопии, обнаруживала свой максимум в варианте с оглеением и составляла 23 млрд/г почвы.

Микроскопические водоросли незначительно подавлялись сочетанным воздействием с численностью 10,5 тыс/г. В то время как в контрольном варианте этот показатель составлял 11,4 тыс/г почвы.

Обилие азотфиксаторов, амилаolitikов и сахаролитиков существенно не изменялось.

Таким образом, основная тенденция связана с выраженным снижением численности грибов и актиномицетов и повышением численности бактерий. Можно предположить, что бактерии выступают в виде дублеров засухоустойчивых мицелиарных организмов.

При исследовании ферментативной активности удалось установить, что оглеение в значительной мере подавило активность каталазы с минимумом 2,8 мл  $O_2$ /г/мин в варианте с оглеением, что почти в два раза меньше по сравнению с контрольным вариантом.

Похожая тенденция выявлена и для активности дегидрогеназы. Следует отметить, что в варианте с добавлением сахарозы и оптимальным увлажнением наблюдалась повышенная активность этих ферментов.

При исследовании активности гидролаз была замечена обратная тенденция. Активность фосфатазы увеличивалась и при простом затоплении, и при сочетанном воздействии с максимумом 0,45 мг  $P_2O_5$ /г/ч. Повышение активности гидролаз связано с обогащением гидроморфных почв органическим веществом.

Для суждения о биологической активности и эколого-биологическом состоянии почвы недостаточно какого-либо одного показателя, так как

каждый из них отражает лишь какую-то одну сторону биологических процессов в почве. Поэтому необходимо использовать широкий набор показателей состояния почвы. Для их объединения была применена методика определения интегрального показателя биологического состояния почвы (ИПБС) [4,5]. Данная методика позволяет оценить совокупность биологических показателей почвы. Для этого показатели контрольного варианта принимают за 100 % и по отношению к нему в процентах выражается значение этого же показателя в остальных образцах.

При исследовании глеевого процесса было установлено, что максимальная микробиологическая активность наблюдается в варианте с сочетанным воздействием затопления и сахарозы, минимальная - вариант с затоплением без сахарозы.

Максимальная ферментативная активность наблюдается в варианте с сахарозой и оптимальным увлажнением, минимальная - вариант с затоплением (рис.2).

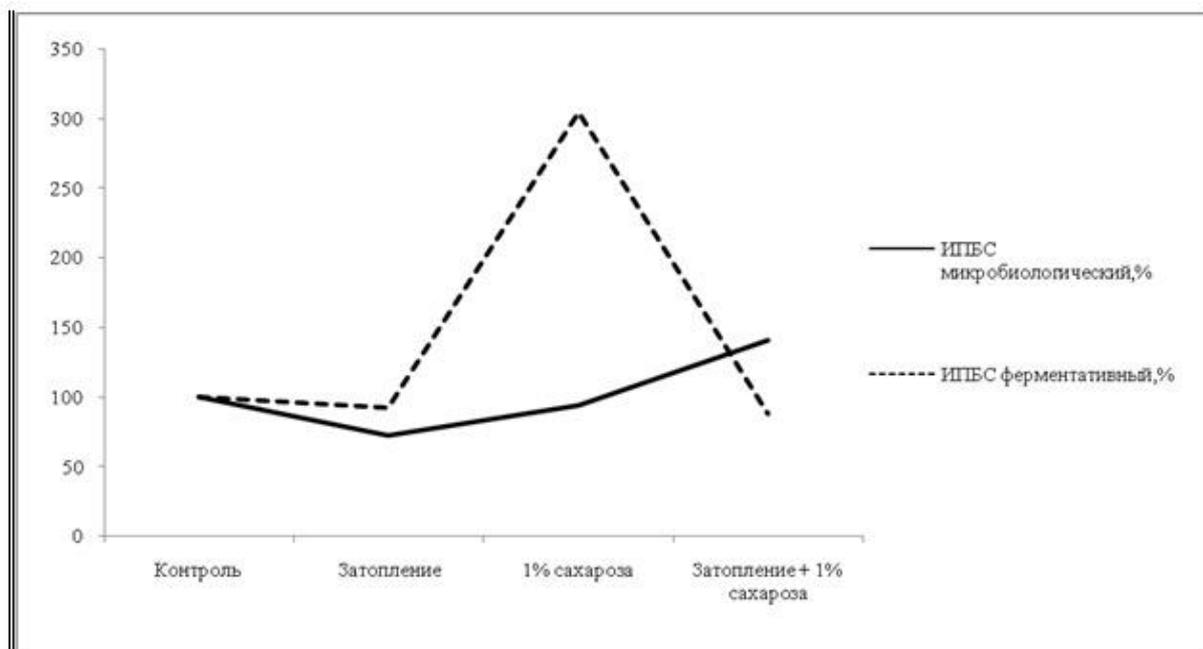


Рисунок 2. Интегральный показатель биологического состояния чернозема

При рассмотрении интегрального показателя биологической активности чернозема при глееобразовании выявлено понижение ферментативной активности при увеличении численности микроорганизмов.

### ВЫВОДЫ

Таким образом, в результате ряда модельных экспериментов было выявлено, что процесс глееобразования стимулирует общую численность бактерий, аммонификаторов и подавляет численность актиномицетов, микромицетов и длину грибного мицелия.

Глеевый процесс понижает активность оксидоредуктаз и повышает активность гидролаз. Также незначительно повышается концентрация гумуса и показатель рН сдвигается в сторону нейтральной реакции среды, происходит накопление большого количества оксида железа (II).

*Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (6.345.2014/К) и государственной поддержке ведущей научной школы Российской Федерации (НШ-2449.2014.4).*

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ачканов А.Я., Николаева С.А. Вторичный гидроморфизм почв степных ландшафтов Западного Предкавказья // Почвоведение. 1999. № 12. С. 1424-1432.
2. Вальков В.Ф., Уманская (Назаренко) О.Г. Изменение минеральной части южного чернозема при глеевом процессе (модельный опыт) // Почвоведение, 1982, № 7. С. 99-106.
3. Зайдельман Ф.Р., Тюльпанов В.И., Ангелов Е.Н., Давыдов А.И. Почвы мочарных ландшафтов – формирование, агроэкология и мелиорация. - М.: Изд-во МГУ. 1998. 160 с.
4. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов н/Д: Изд-во РГУ, 2003. 204 с.
5. Казеев К.Ш., Колесников С.И. Биодиагностика почв: методология и методы исследований. Ростов-на-Дону, 2012.
6. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биология почв Юга России. Ростов н/Д, 2004.
7. Казеев К.Ш., Кутровский М.А., Даденко Е.В., Везденеева Л.С., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Влияние карбонатности пород на биологические свойства горных почв Северо-Западного Кавказа // Почвоведение. 2012. № 3. С. 327.

8. Казеев К.Ш., Стрелкова В.И., Тищенко С.А. Влияние переувлажнения на биоту и свойства почв Юга России. Ростов н/Д: Ростиздат, 2006. 143 с.
9. Казеев К.Ш., Фомин С.Е., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологические особенности локально-гидроморфных почв Ростовской области // Почвоведение, 2004, № 3, С. 361-372.
10. Методы почвенной микробиологии и биохимии // Под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ. 1991. 304 с.
11. Николаева С. А., Еремина А. М. Трансформация соединений железа в черноземах в условиях повышенной увлажненности почв // Почвоведение, 2001, № 8, С. 963-969
12. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука. 1990. 189 с.

#### REFERENCES

1. Achkanov A.Ja., Nikolaeva S.A. Vtorichnyj gidromorfizm pochv stepnyh landshaftov Zapadnogo Predkavkaz'ja // Pochvovedenie. 1999. № 12. S. 1424-1432.
2. Val'kov V.F., Umanskaja (Nazarenko) O.G. Izmenenie mineral'noj chasti juzhnogo chernozema pri gleevom processe (model'nyj opyt) // Pochvovedenie, 1982, № 7. S. 99-106.
3. Zajdel'man F.R., Tjul'panov V.I., Angelov E.N., Davydov A.I. Pochvy mocharnyh landshaftov – formirovanie, agrojekologija i melioracija. - M.: Izd-vo MGU. 1998. 160 s.
4. Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I., Val'kov V.F. Biologicheskaja diagnostika i indikacija pochv: metodologija i metody issledovanij. Rostov n/D: Izd-vo RGU, 2003. 204 s.
5. Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. Biodiagnostika pochv: metodologija i metody issledovanij. Rostov-na-Donu, 2012.
6. Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I., Val'kov V.F. Biologija pochv Juga Rossii. Rostov n/D, 2004.
7. Kazeev K.Sh., Kutrovskij M.A., Dadenko E.V., Vezdeneeva L.S., Kolesnikov S.I., Val'kov V.F. Vlijanie karbonatnosti porod na biologicheskie svojstva gornyh pochv Severo-Zapadnogo Kavkaza // Pochvovedenie. 2012. № 3. S. 327.
8. Kazeev K.Sh., Strelkova V.I., Tishhenko S.A. Vlijanie pereuvlazhnenija na biotu i svojstva pochv Juga Rossii. Rostov n/D: Rostizdat, 2006. 143 s.
9. Kazeev K.Sh., Fomin S.E., Kolesnikov S.I., Val'kov V.F. Biologicheskie osobennosti lokal'no-gidromorfnyh pochv Rostovskoj oblasti // Pochvovedenie, 2004, № 3, S. 361-372.
10. Metody pochvennoj mikrobiologii i biohimii // Pod red. D.G. Zvjaginцева. M.; Izd-vo MGU. 1991. 304 s.
11. Nikolaeva S. A., Eremina A. M. Transformacija soedinenij zheleza v chernozemah v uslovijah povyshennoj uvlazhnenosti pochv // Pochvovedenie, 2001, № 8, S. 963-969
12. Haziev F.H. Metody pochvennoj jenzimologii. M.: Nauka. 1990. 189 s.