

## ЭКОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОДНОЙ МИГРАЦИИ ВЕЩЕСТВ В ЧЕРНОЗЕМАХ ПРИВОЛЖСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

И.М. ЯШИН, И.И. ВАСЕНЕВ, С.Р. РАМАЗАНОВ

(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

*В течение 2015–2018 гг. в ландшафтах Приволжской возвышенности – на стационарных площадках ОАО «учхоз Муммовское» РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева Саратовской области – выполнен мониторинг экологического состояния и водной миграции веществ в черноземах целинной (лугово-степной фации) и на пустошах – выбитое пастбище с черноземами осолоделыми. Наблюдается деградация черноземов в черноземы солонцеватые и осолоделые: их бонитет, стоимость и продуктивность заметно снижаются.*

*В статье приводятся новые фактические данные о взаимосвязи экологического состояния черноземов с гидрохимическим составом грунтовых и вод реки Большой Колышлей. В речных водах обнаружены повышенные концентрации ионов  $Fe^{3+}$  и  $Ca^{2+}$  – соответственно  $0,4 \pm 0,1$  и  $107 \pm 16$  мг/л. С помощью метода сорбционных лизиметров (сорбенты низкозольный активированный уголь и ионообменные смолы) в нативных и деградированных черноземах исследована водная миграция продуктов деградации почв – гуматов и фульватов натрия, соединений Fe, Ca, Na. Наиболее активно эти процессы выражены в деградированных черноземах на пустошах. Здесь, в период вегетации, из гор.  $A_1$  мигрирует  $19,3$  г/м<sup>2</sup> Сорг, а в годовом цикле миграции –  $22,5 \pm 6,3$  г/м<sup>2</sup> Сорг. При этом большая часть массы мигрантов биodeградирует. Органоминеральные соединения в слое белесого древнего аллювия на глубине 67–83 см биodeградируют, а соединения Fe образуют красновато-желтую хроматограмму. Значительно меньше масштаб водной миграции органических веществ проявляется в черноземе обыкновенном с целинной лугово-степной растительностью. Так, в период вегетации из горизонта дернины вымывается  $6,0$  г/м<sup>2</sup> Сорг, а из гумусового горизонта –  $2,8$  г/м<sup>2</sup>. За год из горизонта дернины мобилизуется в почвенный раствор  $13,2 \pm 1,3$  г/м<sup>2</sup>  $S_{орг}$ . Охарактеризованы барьерно-геохимические функции черноземов целинных и деградированных. Уточнены процессы осолонцевания, осолодения и черноземообразования. Подобные изыскания в регионе пока не проводятся, очевидно, из-за их трудоемкости, длительности и специфики оценки водной миграции веществ в почвах.*

**Ключевые слова.** Черноземы; деградация; осолонцевание; гуматы и фульваты натрия; водная миграция; сорбционные лизиметры.

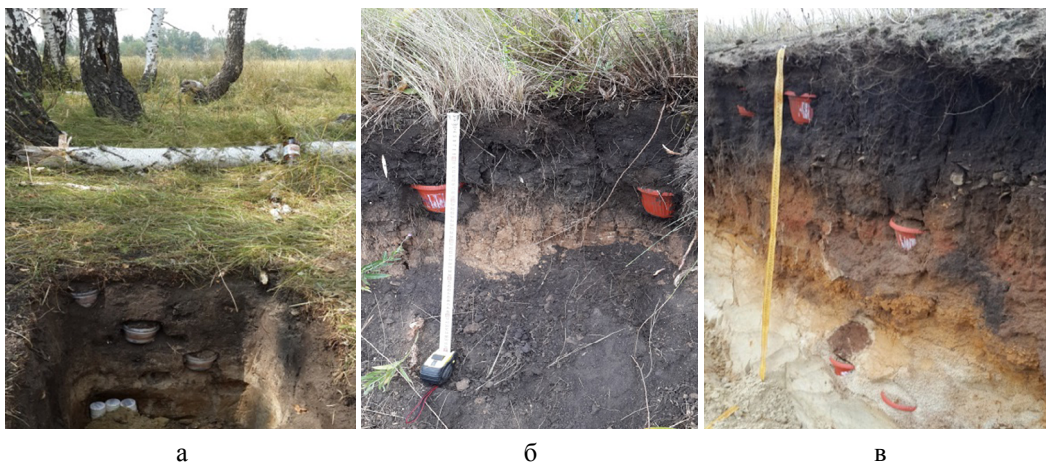
### Введение

Ранее нами были исследованы морфология и физико-химические свойства черноземов аграрных, пойменных, степных и лесостепных экосистем [22]. В 2015–2018 гг. было изучено экологическое состояние черноземов. Анализ литературных источников показал, что проблема диагностики продуктов деградации черноземов актуальная не только для лесостепной зоны России [1, 6–8, 10, 12]. Для почв и ландшафтов Приволжской возвышенности она исследована недостаточно, особенно при аридизации климата и остепнении лесных экосистем [11, 14]. Изнуряющие засухи и масштабные пожары 2010, 2014 гг. способствовали гибели многих фаций березняков и ельников на плакорах, в распадках и лесополосах (рис. 1а). Генезис этого природного бедствия до конца не выяснен, поскольку стационарные исследования в регионе проводятся редко из-за их трудоемкости и дороговизны. Еще меньше

экспериментальных данных о водной миграции веществ в нативных и деградированных черноземах [3, 19]. Поэтому *цель исследования* заключалась в оценке водной миграции веществ – продуктов современного почвообразования. Поисковые опыты с использованием сорбционных лизиметров были вначале проведены специалистами кафедры почвоведения Тимирязевской академии [9, 16, 17], а затем и другими авторами [8]. Напомним, в период 50–70-х годов прошлого столетия миграцию веществ в черноземах изучали с помощью плоских лизиметров Шиловой – накопителей почвенной гравитационной влаги [2, 4]. Исследователи в то время не знали о возможных артефактах данного методологического приема. Позже нами было установлено, что в приемных бутылках таких лизиметрических устройств, происходит интенсивная биодеградация органических и органоминеральных соединений: в воде накапливаются минеральные соли и газы [18–20]. Результаты полевых опытов о составе веществ почвенных растворов оказываются необъективными. В этой связи *задачи изысканий* включали в себя эко-геохимическую оценку водной миграции веществ в черноземах с помощью метода сорбционных лизиметров (МСЛ) в сезонном и годовом циклах миграции и определение гидрохимического состава речных вод. В отличие от водобалансовых лизиметров инженерного типа, МСЛ применяется для оценки масштаба водной миграции (*плотности потока мигрантов*) органических веществ и исследования форм миграции  $Fe^{3+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Na^{+}$  – современных продуктов почвообразования в профилях черноземов.

### Объекты и методы исследований

Стационарные площадки расположены в долине реки Большой Колышлей, в лесных дубравах – на плакоре, в полевых и сенокосных экосистемах – на 2-й и 3-й надпойменных террасах реки, а также в целинных степных фациях, и в лесной полосе, посаженной в 1954 г. сотрудниками Тимирязевской академии.



**Рис. 1.** Плакор коренного берега реки Большой Колышлей:  
 а – фация засохших берез на черноземе осолоделом среднесуглинистом с установленными в профиле сорбционными колонками в засушливое лето 2015;  
 б – целина – лугово-степная фация осенью на черноземе обыкновенном;  
 в – пустошь осенью (*после дождей*) на деградированном черноземе с установленными сорбционными колонками (фото И.М. Яшина, 2015–2017)

Почвообразующие породы представлены лессовидными карбонатно-кальциевыми суглинками, часто с включением прослоев солей и сильно ожеженного

песка. Сплошной зеленовато-желтый солевой горизонт на надпойменных террасах реки залегает на глубине 2,4 м, на плакоре – на глубине 0,7–0,8 м. Почвенный покров исследовался с помощью маршрутных и стационарных методов, *закладки катен* от русла реки к плакору с использованием фрагмента топографической карты М1:10000. Водную миграцию органических веществ, а также катионов  $Fe^{3+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Na^{+}$  в профилях почв изучали с помощью МСЛ. Сорбенты – низкозольный активированный уголь «карболен», ионообменные смолы – катионит КУ-2 в  $H^{+}$  форме и анионит АВ-17 в  $OH^{-}$  форме [5, 23]. Применяли физико-химические методы: колоночную хроматографию, ионометрию, атомно-абсорбционную спектрофотометрию. Анализы веществ в элюатах из сорбентов выполнены в лаборатории ФБГУ ГЦАС «Московский» и частично в ЛАМП кафедр экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

### Результаты и их обсуждение

В лесостепных ландшафтах выявлены сукцессии растительных сообществ – их остепнение, особенно после изнуряющей засухи и пожаров 2010 г. Причем многие фации березняков погибли. Не исключено, что их гибель связана с аридизацией климата, с осолонцеванием черноземов и аллелопатией степных трав: влиянием их жидких и газообразных соединений (например, терпеноидов) [1, 13, 19]. Происходит остепнение лесных массивов (колок), при этом степные экосистемы хорошо адаптированы к аридизации климата и деградации почв.



а

б

**Рис. 2.** Коренной берег реки Большой Колышлей:  
а – верхняя треть склона южной экспозиции с целинной лугово-степной растительностью, разрез 64;  
б – фация засохших берез на черноземе осолоделом (во влажное лето белесый горизонт «Е» с «гумусовой занавеской»), что и рис. 1а (фото И.М. Яшина)

Рассмотрим сопряженную эко-геохимическую оценку водной миграции органических веществ и ионов  $Fe^{3+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Na^{+}$  в черноземах нативных и нарушенных экосистем (табл. 1–3). Целина с лугово-степной растительностью была контролем и фоновой фацией (рис. 2а). Примечательно, что градиенты барьера миграции в черноземе деградированном имеют отрицательные знаки.

В нативном черноземе (разрез 64), напротив, выявлена аккумуляция органических веществ – градиенты барьеров миграции положительные. Сопряженно с органическими веществами ведут себя и соединения железа.

Таблица 1

**Форма и масштаб водной миграции Fe и органических веществ  
в черноземных почвах плакора реки Большой Колышлей под луговой  
степью (целина) и на пустошах – сильно деградированном пастбище –  
в годичном периоде**

Гор-т и глубина закладки колонок, см	C <sub>орг</sub> ВОВ, г/м <sup>2</sup>				Кoeffици- енты миграции (кмиг)		Масштаб миграции Fe-ВОВ ком- плексов, мг/м <sup>2</sup>	Градиент барьера миграции (G) C <sub>орг</sub> ВОВ, г/м <sup>3</sup> год-1
	Общий масштаб водной миграции	в 0,1н. HNO <sub>3</sub> элюате с угля	в 0,1н. NaOH элюате с угля	По сорб- ции ка- тионитом КУ-2	C <sub>орг</sub>	Fe		
<b>Целина.</b> Разрез 64. Почва: чернозем обыкновенный среднесуглинистый на лессовидных карбонатно-кальциевых суглинках (наблюдения 21.06. 2015–23.07.2016 г.)								
A <sub>д</sub> (O) – 5	13,2±1,3	3,7±0,8	6,4±1,1	3,1±0,7	15	7	241±14	Не опр.
A <sub>1</sub> –25	5,9±0,7	2,4±0,6	2,2±0,5	1,2±0,5	8	4	114±9	36,5
Вса – 41	2,1±0,3	0,4±0,0	0,8±0,2	0,9±0,0	4	0,9	51±6	23,8
<b>Пустошь.</b> Разрез 65. Почва: чернозем осолоделый супесчаный на засоленных песчаных отложениях со щебнем опок (наблюдения 22.06.2015–24.07.2016 г.)								
A <sub>1</sub> –18	22,5±6,3	13,5±3,4	6,7±2,1	2,3±0,8	37	34	724±62	Не опр.
A <sub>1</sub> –43	24,9±6,1	11,3±2,3	8,2±1,5	5,4±0,9	38	26	573±41	- 9,6
Вфтранс. –74	30,2±8,4	13,7±4,2	12,4±4,3	4,1±0,8	41	44	815±83	- 17,1

В начале кратко охарактеризуем особенности самого процесса миграции. Абиогенная миграция (*условно – без участия групп живых организмов*) – перемещение в профиле почвы водорастворимых веществ, в частности, органоминеральных комплексов или тонкодисперсных взвесей (и коллоидных частиц) под «защитой» органических лигандов по порам при непосредственном участии гравитационной формы влаги. Мы рассматриваем водную миграцию веществ в насыщенной влагой почве как массоперенос [1, 3, 10, 15]. В почвах аридной зоны проявляются и диффузионные процессы. Нисходящая водная миграция веществ представляет собой многократно повторяющиеся элементарные акты сорбции-десорбции и конвективного (принудительного) переноса растворов по порам, червоточинам и ходам сгнивших корней. Поэтому почвенные растворы в генетических горизонтах – это гетерогенная смесь веществ – продуктов почвообразования [13, 22]. Восходящая миграция в профиле почв происходит за счет гидротермического и концентрационного градиентов (и диффузии) в форме пленочно-капиллярных потоков. Наряду с ними в миграции ионов участвуют концентрационный потенциал и электрохимический (дзета-потенциал). Водная миграция в ландшафтах осложняется боковой (внутрипрофильной, или латеральной) и поверхностной (эрозийной) компонентами [12, 14]. Таким образом, факторы, контролирующие водную миграцию веществ в почвенном профиле, являются результатом совместного действия силы тяжести, осмоса, градиента всасывающего давления почвенной влаги, матричного и концентрационного потенциалов [1, 20, 28]. Уместно отметить, что в раскрытии процесса засоления почв и оценки механизмов водной миграции веществ большую роль сыграли труды американских, английских и австралийских почвоведов [10, 26–29 и др.].

**Форма и масштаб водной миграции Fe и органических веществ  
в черноземных почвах плакора реки Большой Колышлей под луговой  
степью (целина) и на пустошах – сильно деградированном пастбище  
в период вегетации**

Гор-т и глубина закладки колонок, см	C <sub>орг</sub> ВОВ, г/м <sup>2</sup>				Кoeffици- енты миграции (кмиг)		Масштаб миграции Fe-ВОВ ком- плексов, мг/м <sup>2</sup>	Градиент барьера миграции (G) C <sub>орг</sub> ВОВ, г/м <sup>3</sup> год-1
	Общий масштаб водной миграции	в 0,1н. HNO <sub>3</sub> элюате с угля	в 0,1н. NaOH элюате с угля	По сорб- ции ка- тионитом КУ-2	C <sub>орг</sub>	Fe		
<b>Целина.</b> Разрез 64. Почва: чернозем обыкновенный среднесуглинистый на лессовидных карбонатно-кальциевых суглинках (наблюдения 16.06.2017–23.09.2017 г.)								
A <sub>д</sub> (O) – 5	6,0±0,5	1,5±0,3	3,2±0,9	1,3±0,4	10	4	123±17	He опр.
A <sub>1</sub> -25	2,8±0,2	1,2±0,3	1,1±0,2	0,5±0,1	5	2	86±11	24,6
Вса – 41	1,1±0,0	0,3±0,0	0,6±0,1	0,2±0,0	3	0,5	34±8	6,5
<b>Пустошь.</b> Разрез 65. Почва: чернозем осолоделый супесчаный на засоленных песчаных отложениях со щебнем опок (наблюдения 17.06.2017–24.09.2017 г.)								
A <sub>1</sub> -18	19,3±1,6	8,1±2,5	7,4±1,3	3,8±0,9	33	30	654±45	He опр.
A <sub>1</sub> -43	21,6±1,1	9,9±2,2	8,1±1,5	3,6±0,8	35	23	548±34	- 9,2
Вфтранс. –74	23,9±1,5	9,4±1,7	9,3±2,8	3,2±0,8	37	42	725±78	- 7,4

С учетом неоднородности порового пространства горизонтов черноземов траектории нисходящей миграции веществ отличаются сложностью и смещенностью от вертикали. Вода выступает носителем и растворителем веществ при миграции. Ее химическая активность существенно повышается из-за присутствия органических кислот и фульвокислот с комплексообразующими свойствами [1, 11, 17, 19]. Они заметно уменьшают силу поверхностного натяжения менисков воды в капиллярах и улучшают смачиваемость гидрофобных структур гумуса. Почвоведы основное внимание уделяют миграции ионов солей в модельных лабораторных опытах [7, 8, 10], а в почвах экосистем ситуация заметно иная. При этом физико-химическое воздействие солей на гумусовые вещества черноземов изучено неполно [17, 18]. И еще один характерный факт: корни древесных растений в фациях лесостепи часто располагаются не в гумусовом горизонте (рис. 2б), а ближе к слабозасоленной породе. Это обусловлено тем, что корни следуют за потоком почвенной влаги, которая движется в направлении высокого всасывающего давления, где залегают прослойки и горизонты солей [12, 14, 20]. Другая особенность конвективного переноса влаги заключается в том, что когда происходит нисходящая миграция почвенных растворов, в поровое пространство верхних горизонтов засасываются молекулы CO<sub>2</sub> из поверхностных слоев почвы: в лесу – из лесной подстилки, на лугу – из мощной дернины. Газы не только сорбируются компонентами твердой фазы почвы, но и органическими кислотами почвенных растворов, претерпевая трансформацию. Газовая фаза почвы отражает особенности функционирования экосистемы, а не только почвенные процессы и деятельность микроорганизмов [1, 8, 23].

Для оценки сорбции ионов  $\text{Na}^+$  горизонтами почвы при восходящей миграции солей из засоленных пород используется параметр SAR – аббревиатура термина «sodium adsorption ratio». Величина SAR равна отношению концентраций ионов  $\text{Na}^+$  (мг-экв.) к сумме катионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  (мг-экв.) в водной вытяжке из почвы, и рассчитывается по выражению:

$$\text{SAR} = \text{Na}^+ / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})^{1/2}$$

Например, 1 мг-экв. ионов  $\text{Ca}^{2+}$  равен 20,0 мг, а 1 ммоль – 40 мг. В лабораторном опыте из образца чернозема деградированного гор.  $A_1$  установлена концентрация  $\text{Na}^+$  5,7 мг·л<sup>-1</sup>. В водной вытяжке содержится 5,7 мг·л<sup>-1</sup> · 50 мл = 0,285 г  $\text{Na}^+$ . В молях это составит 0,285 г / 23 г·моль<sup>-1</sup> = 12,4 ммоль  $\text{Na}^+$ . С учетом диагностированной концентрации  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  в водной вытяжке величина SAR составит 15,7. Следовательно, эти катионы замещаются ионами натрия. В то же время величина SAR в черноземе обыкновенном (целинном) равна 0,3 (в гор.  $A_1$ ): сорбции ионов  $\text{Na}^+$  нет. Рассмотрим баланс новообразованных компонентов водорастворимых органических веществ (ВОВ) и возможный масштаб их водной миграции.

Таблица 3

**Масштаб водной миграции ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Na}^+$  в черноземных почвах плакора реки Большой Колышлей под луговой степью (целина) и на пустошах – деградированном пастбище в период вегетации**

Гор-т и глубина закладки колонок, см	Са, мг/м <sup>2</sup>				Кoeffициенты миграции (кмиг)		Масштаб миграции $\text{Na}^+$ , мг/м <sup>2</sup> по сорбции КУ-2	Градиент барьера миграции (G) $\text{Ca}^{2+}$ , мг/м <sup>2</sup> год <sup>-1</sup>
	Общий масштаб водной миграции	в 0,1н. $\text{HNO}_3$ элюате с угля	в 0,1н. $\text{NaOH}$ элюате с угля	По сорбции катионитом КУ-2	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Na}^+$		
<b>Целина. Разрез 64. Почва: чернозем обыкновенный среднесуглинистый на лессовидных карбонатно-кальциевых суглинках (наблюдения 16.06. 2017–23.09.2017 г.)</b>								
$A_d(O) - 5$	456 ± 24	168 ± 25	130 ± 22	158 ± 26	3	2	335 ± 23	Не опр.
$A_1 - 25$	233 ± 25	81 ± 28	65 ± 12	87 ± 35	2	1	267 ± 11	1698
$B_{ca} - 41$	70 ± 3	30 ± 5	15 ± 2	25 ± 3	0,4	0,6	83 ± 11	634
<b>Пустошь. Разрез 65. Почва: чернозем осолоделый супесчаный на засоленных песчаных отложениях со щебнем опок (наблюдения 17.06.2017–24.09.2017)</b>								
$A_{1-1} - 8$	271 ± 15	71 ± 10	95 ± 16	105 ± 19	2	7	524 ± 22	Не опр.
$A_1 - 46$	464 ± 13	87 ± 12	65 ± 9	312 ± 21	4	6	449 ± 33	- 774
$B_{франс.} - 74$	466 ± 18	145 ± 16	207 ± 24	114 ± 15	4	2	298 ± 35	- 651
$C - 107$	514 ± 19	123 ± 11	177 ± 23	214 ± 24	4	6	446 ± 19	- 141

Наземная биомасса растений на целине в воздушно-сухом состоянии достигла в июле 823 ± 34 г/м<sup>2</sup>. На пустошах – 81 ± 17 г/м<sup>2</sup>. Содержание  $C_{орг}$  в растениях в среднем составляет 50%. Таким образом, в биомассе целинных лугово-степных трав содержится 411,5 г/м<sup>2</sup>  $C_{орг}$ . Коэффициент мобилизации компонентов ВОВ из растительных

остатков в почвенный раствор примерно равен 0,11–0,12 или 11–12% для «свежих» остатков и первые единицы процента для *гумифицированного субстрата*, согласно исследованиям [19, 21]. Следовательно, только при трансформации наземного опада растений в почвенный раствор за один год мобилизуется  $45,3 \text{ г/м}^2 \text{ C}_{\text{орг}}$ . Из корневого растительного опада (в пределах 5–17 см), по меньшей мере, равного наземному, также мобилизуется в почвенный раствор ВОВ обыкновенного чернозема  $45,3 \text{ г/м}^2 \text{ C}_{\text{орг}}$ ; всего –  $90,6 \text{ г/м}^2 \text{ C}_{\text{орг}}$ . При среднем значении коэффициента минерализации  $k_{\text{мин}}$  78%, биodeградация ВОВ ферментами микроорганизмов составит  $70,7 \text{ г/м}^2 \text{ C}_{\text{орг}}$  – это эмиссия  $\text{CO}_2\uparrow$  из чернозема. Остается  $19,9 \text{ г/м}^2 \text{ C}_{\text{орг}}$ . Из этой массы ВОВ часть их будет сорбирована минералами горизонта  $A_1$ , а часть включена в водную нисходящую миграцию. Сорбция достигает 45–52%, в среднем 49% или  $9,8 \text{ г/м}^2 \text{ C}_{\text{орг}}$ . В исходных биополимерах растительного опада (лигнине, клетчатке и др.) сохранится 4% или  $0,8 \text{ г/м}^2 \text{ C}_{\text{орг}}$ . В водную миграцию должно включиться  $9,3 \text{ г/м}^2 \text{ C}_{\text{орг}}$ , а реально из слоя мощной дернины целинной луговой степи в горизонт  $A_1$  (по нашим данным) мигрирует  $6,0 \pm 0,5 \text{ г/м}^2$  (табл. 1, разрез 64). При этом вещества гумусово-аккумулятивного горизонта  $A_1$  сорбируют мигранты – компоненты ВОВ, мобилизованные из растительного опада. Происходит обновление «старых» молекулярных структур гумусовых веществ и формирование новых молекул (реакции гумификации с участием аминокислот, полифенолов молекул ВОВ и ионов  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  на почвенной матрице): реализуется процесс черноземообразования [22, 23].

На пустошах, где распространены черноземы осолоделые, наблюдается иная экологическая ситуация. Здесь, при явном дефиците растительных остатков и ВОВ, ненасыщенности почвы катионами  $\text{Ca}^{2+}$ , происходит химическое разрушение «старых» структур гумусовых веществ (ГВ) *при щелочном гидролизе*. Данный процесс стимулирует засоление, а ионы  $\text{Na}^+$  проникают в гумусовые горизонты как из засоленных пород, так и из золы растений после пожаров: оксиды щелочных и щелочноземельных катионов, реагируя с молекулами воды в сезон дождей, превращаются в гидроксиды. Величина pH резко подщелачивается [23]. Продукты деградации черноземов – гуматы и фульваты натрия – мигрируют вглубь профиля. В слое 67–83 см наблюдается биodeградация их молекул микроорганизмами и осаждение продуктов деградации, в частности, соединений железа в массе белесого песка древнего аллювия в виде расцветченной хроматограммы гидрогелей гидроксидов Fe (рис. 1в). Коэффициенты водной миграции  $k_{\text{миг}}$  *гуматов и фульватов натрия* в деградированном черноземе (в период вегетации) варьируют в пределах 33–37, а в нативном черноземе – 3–10. Эти величины согласуются с коэффициентами интенсивности водной миграции  $k_{\text{миг}}$  соединений Fe. Установлено, что плотность потока водной миграции комплексных органоминеральных соединений Fe заметно больше в деградированном черноземе из-за проявления процессов осолонцевания и осолодения. Гумусовые вещества в этих почвах не усреднены ионами  $\text{Ca}^{2+}$ , поэтому они миграционно и химически активны [18, 19, 22]. Напомним, что на первом этапе изучения ВОВ с помощью МСЛ специалисты применяли в колонках порошок  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Данный сорбент отличается доступностью и эффективностью при сорбции органических веществ и Fe-органических комплексных соединений [9, 23]. Недостатком этого сорбента является слеживаемость в колонках и необратимая сорбция некоторой массы ВОВ. После специальных опытов *по кинетике, статике и динамике сорбции* выбор пал на гидрофобный сорбент – низкозольный активированный уголь «карболен» [5, 17]. Это очень емкий сорбент с обратимым характером сорбции, но более дорогой, чем  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . После химической регенерации активированный уголь можно применять много раз в сорбционных колонках. Известно, что марка угля «СКТ» используется для сорбции газов в сорбционных колонках, а марка угля «карболен» – для поглощения

жидких компонентов ВОВ. На этой основе был разработан модифицированный вариант метода сорбционных лизиметров для учета жидких и газообразных продуктов трансформации органогенных субстратов в почвах [21]. Кроме этих сорбентов нами были успешно использованы ионообменные смолы (катионит КУ-2 и анионит АВ-17), которые поглощают органические кислоты, полифенолы и фульвокислоты (с ионами металлов), причем, с разными знаками зарядов [16, 17].

При возвращении к результатам опытов, можно отметить, что градиенты барьеров миграции «G» генетических горизонтов как функции их трансформации в нативном черноземе положительные: почвенные горизонты поглощают органические и органоминеральные мигранты. В деградированном черноземе барьеры миграции для  $S_{орг}$  ВОВ отрицательные – минус 7,4–9,2 г/м<sup>3</sup>год<sup>-1</sup>. Вероятно, они заметно трансформированные и слабо сорбируют мигранты – органические вещества в форме натриевых солей, а также ионы  $Ca^{2+}$  и  $Na^+$  в форме сложных и простых солей. Минуя нарушенные барьеры миграции, мигранты попадают сначала в грунтовые, а затем и речные воды бассейнов Большой Колышлей и Волги. Установлены следующие концентрации химических соединений в воде реки Большой Колышлей, отобранной 16.05.2016 г., (мг/л): водорастворимые формы соединений  $Fe^{3+}$  – 0,4±0,1 (ПДК по  $Fe^{3+}$  составляет 0,3 мг/л); нитратный азот  $NO_3^-$  – 0,84±0,2; аммонийный азот  $NH_4^+$  – 0,47±0,1; концентрация катионов  $Ca^{2+}$  – 107±16; сухой остаток – 559±50; реакция среды pH – 6,9±0,2. Принимая во внимание величину сухого остатка, можно отметить, что в речной воде присутствуют также иные катионы и анионы, например,  $SO_4^{2-}$ ,  $HCO_3^-$ . Показатели биологического потребления кислорода (БПК<sub>5</sub>) и химического потребления кислорода (ХПК) соответственно равны 8,4±1,1 и 28,8±6,9 O<sub>2</sub> мг/л и не превышают ПДК.

Грунтовые воды в профиле лугово-черноземной грунтово-глееватой легко-суглинистой почвы поймы реки Большой Колышлей имеют такие концентрации (мг/л): сухой остаток – 269±24; pH – 6,6±0,2;  $Fe^{3+}$  – 2,4±0,6;  $Ca^{2+}$  – 44,6±4,9;  $NH_4^+$  – 0,49±0,1; нитратный азот  $NO_3^-$  – 0,11±0,02; БПК<sub>5</sub> и ХПК соответственно – 26,4±3,4 и 84,8±8,5 O<sub>2</sub> мг/л – это среднее загрязнение органическими веществами нативного генезиса – ВОВ, гуматами и фульватами натрия в условиях глеевого барьера миграции. На данном барьере миграции происходит мобилизация в почвенный раствор ионов  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$  с участием анаэробных микроорганизмов. Гумусовые вещества почвы здесь также трансформируются, появляются их мобильные аналоги [13, 19, 20].

Рассмотрим нисходящую водную миграцию ионов  $Ca^{2+}$  и  $Na^+$ . Установлено, что вынос ионов  $Ca^{2+}$  из дернины целинного чернозема весьма масштабный – 456±24 мг/м<sup>2</sup> в сравнении в горизонтом А<sub>1</sub> (18 см) деградированного чернозема 271±15 мг/м<sup>2</sup>. Причем, плотность потока миграции ионов  $Ca^{2+}$  с глубиной в целинном черноземе резко уменьшается до 70±3 мг/м<sup>2</sup> из-за присутствия карбонатно-кальциевого барьера миграции, а в деградированном черноземе, наоборот, плотность потока ионов  $Ca^{2+}$  увеличивается до 514±19 мг/м<sup>2</sup>, возможно, вследствие десорбции из твердой фазы почвы ионами натрия. Не исключается и их латеральный привнос. Величины градиентов барьеров миграции для ионов  $Ca^{2+}$  в деградированном черноземе отрицательные: от – 141 до – 774 г/м<sup>3</sup>•год<sup>-1</sup>. В целинном черноземе барьеры миграции в отношении ионов  $Ca^{2+}$  положительные – наблюдается их сорбция (табл. 3).

В деградированном черноземе также установлен заметный вынос ионов  $Na^+$ , по сорбции катионитом КУ-2 в колонках: 298±35 мг/м<sup>2</sup> из горизонта В<sub>гранс</sub> и 524±22 мг/м<sup>2</sup> из верхнего гумусово-аккумулятивного горизонта А<sub>1</sub>. Катионы  $Na^+$  мигрируют преимущественно в составе комплексов с фульвокислотами



и незначительно с гуминовыми веществами. По-видимому, данный факт связан с составом гумуса деградированного чернозема, в гор. А<sub>1</sub> которого заметно преобладают фульвосоединения (47,7%) и гумин (негидролизуемый остаток) – 32,4%; доля С<sub>орг</sub> высокомолекулярных гуминовых веществ составляет 19,9%.

Активная биodeградация молекул ВОВ и частично ГС черноземов при их осолонцевании свидетельствует *об уменьшении сложности, упорядоченности и разнообразия структурных компонентов*. В то же время *резкое* преобладание процесса биodeградации *над мобилизацией* в раствор молекул ВОВ из растительных остатков и их гумификацией ( $k_{мин} \gg k_{зум}$ ) в черноземах осолоделых и солонцеватых указывает на тенденцию уменьшения биологической информации в экосистемах пустошей.

Фактические сведения по водной миграции органических веществ свидетельствуют, что нативные гумусовые соединения черноземов, черноземных почв и ВОВ хотя и взаимосвязаны генетически, но выполняют в экосистемах лесостепной зоны принципиально разные экологические функции: в гумусовых веществах (в частности, в гуминовых кислотах ненарушенных черноземов) на какой-то промежуток времени затормаживается круговорот С<sub>орг</sub>. Компоненты ВОВ с кислотными, комплексообразующими и аллелопатическими свойствами, напротив, интенсифицируют эко-геохимический круговорот С<sub>орг</sub> и химических элементов [20, 31]. Однако уверенно идентифицировать их компонентный состав не всегда удается из-за чрезвычайно активной биodeградации микроорганизмами, которые сами продуцируют низкомолекулярные органические вещества – алифатические кислоты. При биodeградации ВОВ и гумусовых веществ формируются новые химические соединения и газы, но их функции и изучены пока недостаточно.

### Заключение

В условиях аридизации климата, охватившей ландшафты Приволжской возвышенности Саратовской области, создаются благоприятные предпосылки для реализации процессов засоления черноземов и их трансформации в черноземы солонцеватые и осолоделые. Возможно, это одна из экологических причин гибели фаций березы и их остепнения. В известной мере, указанные генетические особенности экологического состояния черноземов удалось выявить при изучении мобильных продуктов почвообразования с помощью метода сорбционных лизиметров. Была выполнена сравнительная эко-геохимическая оценка водной миграции органических и органоминеральных продуктов почвообразования в нативном (целинном черноземе обыкновенном) и деградированном черноземе осолоделом (на пустошах – выбитом скотом степном пастбище) с использованием доступных и эффективных сорбентов – низкодольного активированного угля «карболен», ионообменных синтетических смол катионита КУ-2 и анионита АВ-17. Эти результаты не строго количественные, но они позволяют уточнить направленность современной эволюции черноземов и их экологическое состояние. Среди продуктов деградации черноземов диагностированы мобильные формы гуматов и фульватов натрия, комплексные органоминеральные соединения Fe. Компоненты ВОВ с кислотными и комплексообразующими свойствами мобилизуются в почвенный раствор из растительного опада и корневых выделений, участвуют в формировании пула мобильных (жидких) углеродсодержащих соединений. Они участвуют в обновлении структур гумусовых веществ и водной миграции наряду с гуматами и фульватами натрия, как в деградированном черноземе.

Установлено, что эволюция черноземов в черноземные почвы отражается на гидрохимическом составе речных вод региона. Речные и грунтовые воды бассейна

Большой Колышлей имеют повышенные концентрации ионов  $Fe^{3+}$ ,  $Ca^{2+}$  и органических веществ. Экологическая безопасность грунтовых и речных вод ухудшается, поэтому перед употреблением в пищу вода из реки Большой Колышлей требует комплексной очистки: обеззараживания и сорбционного удаления мигрантов (глубокой очистки), особенно ионов  $Fe^{3+}$ .

### Библиографический список

1. Возможности современных и будущих фундаментальных исследований в почвоведении. Пер. с англ. М.И. Герасимовой. Научный редактор перевода В.О. Таргульян. М.: ГЕОС. 2000. – 138 с.
2. Дьяконова К.В. Органические и минеральные вещества лизиметрических вод некоторых типов почв и их роль в современном процессе почвообразования // Органическое вещество освоенных и целинных почв. – М.: Наука. – 1972. – С. 183–223.
3. Кауричев И.С., Поддубный Н.Н. Почвы учебного хозяйства «Муммовское» и их агрономическая характеристика // Известия ТСХА. – 1957. Вып. 2. – С. 141–155.
4. Коковина Т.П. Состав лизиметрических вод в мощных черноземах под целинной травянистой растительностью // Труды Центр. черноземного заповедника. – 1965. – Вып. 8. – С. 264–281.
5. Кауричев И.С., Яшин И.М. Теоретическое обоснование метода лизиметрических хроматографических колонок // Известия ТСХА. – 1973. Вып. 3. – С. 89–98.
6. Моделирование процессов засоления и осолонцевания почв // Сб. статей. Ред. В.А. Ковда И. Саболяч. – М.: Наука. 1980. – 262 с.
7. Надежкин С.М. Органическое вещество почв лесостепи Приволжской возвышенности и пути его регулирования. – М. – Пенза. – 1999. – 239 с.
8. Панкова Е.И., Воробьева Л.А. Диагностика и критерии оценки засоления почв. В кн. Засоленные почвы России. М.: ИКЦ «Академкнига». 2006. – С. 6–50.
9. Поддубный Н.Н., Кирюхина З.П. О миграции водорастворимого органического вещества в пахотных и целинных черноземах обыкновенных // Доклады ТСХА. – 1971. Вып. 169. – С. 116–118.
10. Роуэлл Дэвид Л. Почвоведение: методы и использование. Пер. с англ. Е.К. Кубиковой. Научн. ред. Б.Н. Золотарева. М.: Колос. – 1998. – 486 с.
11. Теория и практика химического анализа почв. Сборник статей. Ред. Л.А. Воробьева. М.: ГЕОС. 2006. – 400 с.
12. Усов Н.И. Почвы Саратовской области. Монография. Ч. 1 (Правобережье); 288 с.; Ч. 2 (Заволжье). – Саратов: ОГИЗ. Саратовское областное отделение. – 1948. – 362 с.
13. Черников В.А., Яшин И.М. Некоторые принципы эколого-химической диагностики продуктов деградации гумусовых соединений почв агроландшафтов // Известия ТСХА. 1995. – Вып. 1. – С. 87–100.
14. Шеин Е.В., Карпачевский Л.О. Теории и методы физики почв. Коллективная монография. М.: Изд-во «Гриф и К». – 2007. – 616 с.
15. Шишов Л.Л., Кауричев И.С., Яшин И.М. и др. Лизиметры в почвенных исследованиях. Сборник статей. Ред. Л.Л. Шишов. – М.: Почвенный ин-т имени В.В. Докучаева РАСХН. – 1998. – 264 с.
16. Яшин И.М. Сорбция и десорбция органических веществ почвы активированным углем и окисью алюминия // Известия ТСХА. – 1972. Вып. 6. – С. 122–129.
17. Яшин И.М. Водорастворимые органические вещества почвы – их состав и миграция. – Автореф. канд. диссерт. – 06.01.03 – почвоведение. – М.: ТСХА. – 1974. – С. 13, табл. 5.

18. Яшин И.М. Выделение из почв мобильных групп гумусовых соединений водным раствором нейтральной соли // Сб. статей: Актуальные вопросы агрономического почвоведения. – М.: МСХА. – 1989. – С. 48–61.
19. Яшин И.М. Взаимодействие гидроксида железа, препаратов гуминовых кислот и доломита с водорастворимыми органическими веществами подзолистых почв // Известия ТСХА. – 1991. – Вып. 5. – С. 46–61.
20. Яшин И.М., Раскатов В.А., Шишов Л.Л. Миграция химических элементов в почвенном покрове. – М.: МСХА. – 2003. – 316 с.
21. Яшин И.М. Исследование трансформации органических веществ в подзолистых почвах таежной зоны // Агроэкология. 2015. № 1. С. 10–19.
22. Яшин И.М., Васенев И.И., Рамазанов С.Р. Экологическая оценка, генезис и эволюция черноземов Приволжской возвышенности. Коллективная монография. Ред. И.М. Яшин. – М.: РГАУ-МСХА. – 2017. – 158 с.
23. Яшин И.М., Черников В.А. Опыт применения хроматографии в почвоведении и экологии. Коллективная монография. Ред. И.М. Яшин. – М.: РГАУ-МСХА. – 2017. – 240 с.
24. Georg Guggenberger, Wolfgang Zech. Dissolved organic carbon in forest floor leachates: simple degradation products or humic substances? / The Science of the Total Environment. – 152 (1994). – P. 37–47.
25. Mikhailova E.A., Bryant R.B., Vasenev I.I., Swager S.J., Post C.J. Cultivation effects on soil organic carbon and total nitrogen at depth in the Russian Chernozems / Soil Sci. Am. J. V.64. – 2000. – P. 738–745.
26. Philips J.R. The theory of infiltration // Soil Sci. 1957, 1958, № 83, P. 345–357, 435–448; № 84. P. 173–177, 257–264, 329–339; № 85. P. 278–286, 333–337.
27. Richards L.Al. Diagnosis and improvement of salineland alkali soils // U.S.D.A. Agric. Handbook. – 1954. № 60. – 160 p.
28. Soil processes and the carbon cycle. CRS Press. – 1997. – 615 p.
29. Soil organic matter in temperate agroecosystems: long-term experiments in North America (E.A. Paul et.al.ed.) CRS Press. – 1997. – 420 p.
30. Schnitzer M., Skinner S.I.M. Organo-metallic interaction in soils. 7. Stability constants of Pb<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> – fulvic acid complexes // Soil Science. – 1967. V. 103. № 4. – P. 247–252.
31. Stevenson F.J. Humus Chemistry. Genesis, Composition, Reaction. John Wiley. New York. 1982.

## ECOGEOCHEMICAL ASSESSMENT OF WATER MIGRATION OF SUBSTANCES IN THE CHERNOZEMS OF THE VOLGA UPLAND

I.M. YASHIN, I.I. VASENEV, S.R. RAMAZANOV

(Russian Timiryazev State Agrarian University)

*In 2015–2018, on stationary sites of Open JSC “Mummovskoye Uchkhoz” of Russian Timiryazev State Agrarian University located in the Saratov region, the authors conducted monitoring of the ecological state of black soils in virgin (meadow-steppe facies) and on wastelands – broken pasture with malty black soils.*

*The study showed a degradation of chernozem soils in saline and solodized chernozem, so their bonitet, productive capacity and cost reduce greatly.*

*The paper provides new evidence on the relationship of the ecological status of chernozem with the hydrochemical composition of groundwater and the Bolshoy Kolysheley river water.*

The study found increased concentrations of ions of  $Fe^{3+}$  and  $Ca^{2+}$ ,  $0,4 \pm 0,1$  and  $107 \pm 16$  mg / l, respectively. Using the method of sorption lysimeters in native and degraded chernozems, water migration of soil degradation products such as humates and fulvates of sodium, compounds of Fe, Ca, Na were studied. These processes are most actively expressed in degraded black earth soils in the wastelands. Here migration from mountains A1 amounts to  $19.3 \text{ g/m}^2 C_{org}$ , while the annual migration cycle amounts to  $22,5 \pm 6,3 \text{ g/m}^2 C_{org}$ . Organo-mineral compounds in the whitish layer of ancient alluvium at a depth of 67–83 cm are biodegraded, and Fe compounds form a reddish-yellow chromatogram. Significantly smaller scale of water migration of organic substances is manifested in ordinary chernozem with virgin meadow-steppe vegetation. Thus,  $6.0 \text{ g/m}^2 C_{org}$  is washed out of the sod horizon, and  $2.8 \text{ g/m}^2 C_{org}$  from the humus horizon. The barrier-geochemical functions of virgin and degraded chernozems are characterized. The processes of alkalization, dehydration and black soil formation are specified. Such surveys have not been carried out yet in the region, which may be caused by their laboriousness and methodological features of assessing water migration of substances.

**Key words:** chernozems; degradation; alkalinity; humates and fulvates of sodium; water migration; sorption lysimeters.

## References

1. Vozможnosti sovremennykh i budushchikh fundamental'nykh issledovaniy v pochvovedenii [Prospects of modern and future basic research in soil science]. Translated from English by M.I. Gerasimova. Scientific editor of the translation – V.O. Targul'yan. M.: GEOS. 2000. – 138 p. (In Russian)
2. D'yakonova K.V. Organicheskiye i mineral'nyye veshchestva lizimetricheskikh vod nekotorykh tipov pochv i ikh rol' v sovremennom protsesse pochvoobrazovaniya [Organic and mineral substances of lysimetric waters of some soil types and their role in the modern process of soil formation] // Organicheskoye veshchestvo osvoyennykh i tselinnykh pochv. – M.: Nauka. – 1972. – Pp. 183–223. (In Russian)
3. Kaurichev I.S., Poddubnyy N.N. Pochvy uchebnogo khozyaystva “Mummovskoye” i ikh agronomicheskaya kharakteristika [Soil study farm “Mummovskoe” and its agronomic characteristics] // Izvestiya TSKHA. – 1957. Issue 2. – Pp. 141–155. (In Russian)
4. Kokovina T.P. Sostav lizimetricheskikh vod v moshchnykh chernozemakh pod tselinnoy travyanistoy rastitel'nost'yu [Composition of lysimetric waters in deep black soils under virgin grassy vegetation] // Trudy Tsent. chernozemnogo zapovednika. – 1965. – Issue 8. – Pp. 264–281. (In Russian)
5. Kaurichev I.S., Yashin I.M. Teoreticheskoye obosnovaniye metoda lizimetricheskikh khromatograficheskikh kolonok [Theoretical substantiation of the method of lysimetric chromatographic columns] // Izvestiya TSKHA. – 1973. Issue 3. – Pp. 89–98. (In Russian)
6. Modelirovaniye protsessov zasoleniya i osolontsevaniya pochv [Modeling the processes of salinization and soil alkalization] // Collection of papers. Ed. by V.A. Kovda I. Sabol'ch. – M.: Nauka. 1980. – 262 p. (In Russian)
7. Nadezhkin S.M. Organicheskoye veshchestvo pochv lesostepi Privolzhskoy vozvys'hennosti i puti yego regulirovaniya [Organic matter of forest-steppe soils of the Volga Upland and ways of its regulation]. – M. – Penza. – 1999. – 239 p. (In Russian)
8. Pankova Ye.I., Vorob'yeva L.A. Diagnostika i kriterii otsenki zasoleniya pochv [Diagnostics and criteria for assessing soil salinity]. In: Zasolennyye pochvy Rossii. M.: IKTS “Akademkniga”. 2006. – Pp. 6–50. (In Russian)
9. Poddubnyy N.N., Kiryukhina Z.P. O migratsii vodorastvorimogo organicheskogo veshchestva v pakhotnykh i tselinnykh chernozemakh obyknovennykh [On the migration

- of water-soluble organic matter in arable and virgin ordinary chernozems] // Doklady TSKHA. – 1971. Issue 169. – Pp. 116–118. (In Russian)
10. *Rouell Devid L.* Pochvovedeniye: metody i ispol'zovaniye [Soil science. Methods and uses]. Translated from English by Ye.K. Kubikova. Scientific editor – B.N. Zolotareva. M.: Kolos. – 1998. – 486 p. (In Russian)
  11. Teoriya i praktika khimicheskogo analiza pochv [Theory and practice of chemical analysis of soils]. Collection of papers. Ed. by L.A. Vorob'yeva. M.: GEOS. 2006. – 400 p. (In Russian)
  12. *Usov N.I.* Pochvy Saratovskoy oblasti. Monografiya. Part 1 (Pravoberezh'ye); 288 p.; Part 2 (Zavolzh'ye) [Soils of the Saratov region. Monograph. Part 1 (Volga Right Bank); 288 p.; Part 2 (Trans-Volga)]. – Saratov: OGIZ. Saratovskoye oblastnoye otdeleeniye. – 1948. – 362 p. (In Russian)
  13. *Chernikov V.A., Yashin I.M.* Nekotoryye printsipy ekologo-khimicheskoy diagnostiki produktov degradatsii gumusovykh soyedineniy pochv agrolandshaftov [Some principles of ecological and chemical diagnostics of degradation products of humic compounds of agrolandscape soils] // Izvestiya TSKHA. 1995. – Issue 1. – Pp. 87–100. (In Russian)
  14. *Shein Ye.V., Karpachevskiy L.O.* Teorii i metody fiziki pochv [Theories and methods of soil physics]. Collective monograph. M.: Izd-vo "Grif i K". – 2007. – 616 p. (In Russian)
  15. *Shishov L.L., Kaurichev I.S., Yashin I.M. et al.* Lizimetry v pochvennykh issledovaniyakh [Lysimeters in soil studies]. Collection of papers. Ed. by L.L. Shishov. – M.: Pochvennyy in-t imeni V.V. Dokuchayeva RASKHN. – 1998. – 264 p. (In Russian)
  16. *Yashin I.M.* Sorbtsiya i desorbtsiya organicheskikh veshchestv pochvy aktivirovannym uglem i okis'yu alyuminiya [Sorption and desorption of soil organic matter with activated carbon and aluminum oxide] // Izvestiya TSKHA. – 1972. Issue 6. – Pp. 122–129. (In Russian)
  17. *Yashin I.M.* Vodorastvorimyye organicheskiye veshchestva pochvy – ikh sostav i migratsiya [Water-soluble soil organic matter – its composition and migration]. – Self-review of PhD thesis. – 06.01.03 – Soil Science. – M.: TSKHA. – 1974. – P. 13, tabl. 5. (In Russian)
  18. *Yashin I.M.* Vydeleniye iz pochv mobil'nykh grupp gumusovykh soyedineniy vodnym rastvorom neytral'noy soli [Isolation of mobile groups of humus compounds from the soil by an aqueous solution of a neutral salt] // In: Aktual'nyye voprosy agronomicheskogo pochvovedeniya. – M.: MSKHA. – 1989. – Pp. 48–61. (In Russian)
  19. *Yashin I.M.* Vzaimodeystviye gidroksida zheleza, preparatov guminovykh kislot i dolomita s vodorastvorimymi organicheskimi veshchestvami podzolistykh pochv [Interaction of iron hydroxide, humic acid and dolomite preparations with water-soluble organic substances of podzolic soils] // Izvestiya TSKHA. – 1991. – Issue 5. – Pp. 46–61. (In Russian)
  20. *Yashin I.M., Raskatov V.A., Shishov L.L.* Migratsiya khimicheskikh elementov v pochvennom pokrove [Migration of chemical elements in the soil cover]. – M.: MSKHA. – 2003. – 316 p. (In Russian)
  21. *Yashin I.M.* Issledovaniye transformatsii organicheskikh veshchestv v podzolistykh pochvakh tayezhnoy zony [Study of the transformation of organic substances in podzolic soils of the taiga zone] // Agroekologiya. 2015. N1. Pp. 10–19. (In Russian)
  22. *Yashin I.M., Vasenev I.I., Ramazanov S.R.* Ekologicheskaya otsenka, genezis i evolyutsiya chernozemov Privolzhskoy vozvysheynosti [Ecological assessment, genesis and evolution of chernozems of the Volga Upland.]. Collective monograph. Ed. by I.M. Yashin. – M.: RGAU-MSKHA. – 2017. – 158 p. (In Russian)

23. *Yashin I.M., Chernikov V.A.* Opyt primeneniya khromatografii v pochvovedenii i ekologii [Experience in the use of chromatography in soil science and ecology]. Collective monograph. Ed. by I.M. Yashin. – M.: RGAU-MSKHA. – 2017. – 240 p.
24. *Georg Guggenberger, Wolfgang Zech.* Dissolved organic carbon in forest floor leachates: simple degradation products of humic substances? / *The Science of the Total Environment.* – 152 (1994). – Pp. 37–47. (In English)
25. *Mikhailova E.A., Bryant R.B., Vasenev I.I., Swager S.J., Post C.J.* Cultivation effects on soil organic carbon and total nitrogen at depth in the Russian Chernozems / *Soil Sci. Am.J.* Vol. 64. – 2000. – Pp. 738–745. (In English)
26. *Philips J.R.* The theory of infiltration // *Soil Sci.* 1957, 1958, N83, P. 345–357, 435–448; N84. P. 173–177, 257–264, 329–339; N85. Pp. 278–286, 333–337. (In English)
27. *Richards L.A.I.* Diagnosis and improvement of salineland alkali soils // *U.S.D.A. Agric. Handbook.* – 1954. N60. – 160 p. (In English)
28. *Soil processes and the carbon cycle.* CRS Press. – 1997. – 615 p. (In English)
29. *Soil organic matter in temperate agroecosystems: long-term experiments in North America* (E.A. Paul et al.ed.) CRS Press. – 1997. – 420 p. (In English)
30. *Schnitzer M., Skinner S.I.M.* Organo-metallic interaction in soils. 7. Stability constants of Pb<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> – fulvic acid complexes // *Soil Science.* – 1967. Vol. 103. N4. – Pp. 247–252. (In English)
31. *Stevenson F.J.* Humus Chemistry. Genesis, Composition, Reaction. John Wiley. New York. 1982. (In English)

**Яшин Иван Михайлович** – старший научный сотрудник, д.б.н., проф. кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, Москва, Тимирязевская ул., 49; тел.: (499) 977-04-86; e-mail: ivan.yashin2012@gmail.com)

**Васенев Иван Иванович** – д.б.н., проф., зав. кафедрой экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, Москва, Тимирязевская ул., 49; тел.: (499) 977-04-86; e-mail: ivvasenev@gmail.com).

**Рамазанов Сабир Рамазанович** – соискатель кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, Москва, Тимирязевская ул., 49; тел.: (499) 977-04-86; e-mail: rsr005@yandex.ru).

**Ivan M. Yashin** – DSc (Bio), Professor, the Department of Ecology, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49; phone: (499) 977-04-86; e-mail: ivan.yashin2012@gmail.com)

**Ivan I. Vasenev** – DSc (Bio), Professor, Head of the Department of Ecology, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49; phone: (499) 977-04-86; e-mail: ivvasenev@gmail.com).

**Sabir R. Ramazanov** – PhD seeker, the Department of Ecology, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya street, 49; phone: (499) 977-04-86; e-mail: rsr005@yandex.ru).