

ФОРМЫ МИГРАЦИИ ВЕЩЕСТВА В ЛАНДШАФТАХ

УДК 631.459: 911.2: 550.4

А.П. Жидкин¹, А.Н. Геннадиев², Т.С. Кошовский³, Ю.Г. Чендев⁴

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЛАТЕРАЛЬНОЙ МИГРАЦИИ ТВЕРДОФАЗНОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ (БЕЛГОРОДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Получен комплекс данных, характеризующих пространственные и временные параметры латеральной миграции твердофазного вещества (ЛМТВ) почв в пределах широколиственно-лесного участка лесостепи на территории Белгородской области. Объектами исследования были естественные лесные и распахиваемые почвы склонов с разной длительностью сельскохозяйственного освоения. На относительно молодых пашнях (возраст освоения 100 лет) по сравнению со староосвоенными территориями (150 лет) установлено уменьшение среднегодового темпа миграции и аккумуляции твердофазного вещества почв, как для катен южных, так и для катен северных склонов. Оценены особенности перемещения почвенного вещества на естественных лесных участках, связанные с зоогенным фактором. Количественно охарактеризован зональный (сегментарный) тренд изменения склонового экспозиционного эффекта при проявлении ЛМТВ почв. На морфологически сходных распахиваемых склонах отмечено высокое подобие латерального расположения зон (сегментов) разной интенсивности миграции и аккумуляции вещества почв при одинаковой экспозиции склонов. Выделены сегменты почвенных катен, отличающиеся ускорением или замедлением темпа ЛМТВ почв при движении вниз по склону: стационарный, прогрессивно-миграционный, регрессивно-миграционный, стационарно-миграционный и аккумулятивный.

Ключевые слова: латеральная миграция, эрозия почв, твердофазное вещество, экспозиция склонов, почвенные катены.

Введение. Латеральная миграция вещества почв в ландшафтах – один из определяющих процессов пространственной дифференциации геосистем. Миграция происходит под действием различных факторов, в нее вовлекаются почвенные компоненты, находящиеся в разных фазовых состояниях. А.И. Перельман [1975] выделял несколько видов миграции вещества в ландшафтах, в том числе латеральную: механическую, физико-химическую, биогенную и техногенную. В случае первой из них – механической – перемещение вещества происходит по законам механики, основными агентами миграции служат силы тяжести, текучая вода, ветер, лед. В результате образуются делювий, пролювий, аллювий, морена и прочие кластические отложения. А.И. Перельман отмечал, что перемещение частиц во взвешенной форме дифференцированно влияет на вынос и аккумуляцию веществ различного химического состава, в результате чего «механическая миграция приводит к глубоким химическим изменениям в ландшафте» [Перельман, 1961, с. 124]. Среди других форм миграции механическая миграция по объему и скорости транспортировки материала часто играет ведущую роль [Горшков, 1980; Перельман, Касимов, 1999].

Однако специалисты в области геохимии ландшафтов, генезиса и географии почв уделяют ее изучению значительно меньше внимания, чем физико-химической или биогенной миграции. Между тем установление связей между почвами различных ландшафтно-геохимических позиций, оценка устойчивости пространственных почвенных комбинаций, прогноз состояния почвенного покрова в условиях воздействия на него разнообразных природных и техногенных факторов возможны только при учете результатов латеральной механической миграции, или латеральной миграции твердофазного вещества (ЛМТВ) почв. Термин «ЛМТВ почв» нам представляется более четким и конкретным в связи с тем, что механическая миграция может ассоциироваться с перемещением почвенного материала по склону механизмами, включая сельскохозяйственную технику. Кроме того, в геохимии ландшафтов и генетическом почвоведении нередко сопряженно исследуются латеральная и *радиальная* (например, лессиваж почв) миграция твердофазного вещества, и в этом аспекте термин «ЛМТВ почв» также более правилен.

В течение последних полутора десятилетий нами получен массив данных, характеризующих разные аспекты этих процессов [Геннадиев и др.,

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, науч. с., канд. геогр. н.; *e-mail*: gidkin@mail.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, профессор, докт. геогр. н.; *e-mail*: alexagenna@mail.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, инженер; *e-mail*: tkzv@ya.ru

⁴ Белгородский государственный университет, факультет горного дела и природопользования, заведующий кафедрой, докт. геогр. н.; *e-mail*: sciences@mail.ru

2004, 2010, 2013; Голосов и др., 2011; Жидкин, 2010]. Подчеркнем, что в этих работах рассматривается ЛМТВ почв, которая происходит преимущественно под воздействием поверхностных временных водных потоков, но при этом включает и другие явления различной природы (например, перемещение вещества почв в результате работы сельскохозяйственной техники и почвенных землероев).

Можно отметить, что к настоящему моменту в географо-генетическом почвоведении и геохимии ландшафтов все еще сохраняется дефицит данных о рассматриваемых процессах миграции вещества, особенно актуальным остается выявление конкретных количественных параметров пространственно-временных проявлений ЛМТВ почв.

В связи с этим цель исследований состояла в количественной оценке особенностей миграции и аккумуляции твердофазного вещества почв на территории с выраженной пространственно-временной дифференциацией факторов этого процесса, а именно на склонах с разным возрастом освоения, типом землепользования и экспозицией. Для оценки объема и темпа ЛМТВ почв использован метод магнитного трассера.

Материалы и методы исследований. Территория исследований расположена в Шебекинском административном районе Белгородской области, в окрестностях пос. Батрацкие Дачи. Ключевой участок находится в пределах Среднерусской возвышенности и характеризуется структурно-денудационным типом рельефа с высокой степенью расчлененности овражно-балочной сетью. Почвообразующими породами служат лёссовидные карбонатные суглинки средне- и поднеплейстоценового возраста, как правило, средне- и крупнопылеватые. В некоторых местах на приводораздельных поверхностях они имеют небольшую мощность, почвенный профиль с глубины 50–80 см включает подстилающие породы – желто-бурые тяжелые, часто опесчаненные суглинки и глины палеогенового возраста, иногда с прослойками линз бурых песков и супесей мощностью 10–20 см.

Естественная растительность представлена кленово-дубовыми лесами с примесью ясеня и осины, с лещиной в подлеске и травостоем из неморальных видов (сныть, копытень, звездчатка). Сельскохозяйственные угодья преобладают по площади. Район характеризуется сложной многоэтапной историей сельскохозяйственного освоения земель с близким территориальным положением участков с разной длительностью распашки. Возраст распашки на исследованной территории датирован на основе анализа исторических карт (Генеральный план Белгородского уезда (1785), военно-топографическая карта Курской губернии (1864), карта растительности юго-востока Курской губернии из работы В.Н. Сукачева (1903)). По результатам анализа карт выбраны участки с пашнями разного возраста освоения – 150- и 100-летнего. Также изучены почвы неосвоенных земель под кленово-дубовым лесом, возраст которого, судя по анализу старинных карт, не менее 220 лет (рис. 1).

Объекты исследования на выбранных участках – катенарные сопряжения почв, протягивающиеся от ровных водораздельных позиций к днищам элементов овражно-балочной сети. Для корректного сравнения выбраны склоны, очень сходные по морфологическим параметрам и характерные для территории исследования – выпуклые в продольном сечении, прямые или слабовыпуклые в поперечном сечении, с крутизной, постепенно нарастающей от водоразделов к нижним частям склонов (максимально до 5–6°), длиной от 350 до 450 м. Морфологический анализ и подбор склонов проводили на основе цифровой модели рельефа исследуемой территории. На каждом катенарном сопряжении почв изучено по 7 разрезов, расположенных вдоль линий тока воды – на приводораздельной поверхности, слабонаклонной поверхности, в верхней, средней, самой крутой нижней частях склона, а также в днище балки или ложбины.

Поскольку экспозиция склонов также относится к ведущим факторам развития ЛМТВ почв, то исследование для разного режима землепользования проводили попарно с учетом полярной (северной и южной) экспозиции склонов. В общей сложности изучено 6 катенарных сопряжений почв (рис. 1).

Темп ЛМТВ почв оценивали с применением метода магнитного трассера. Этот метод основан на использовании сферических магнитных частиц (СМЧ) в качестве трассера передвижения твердофазного вещества почв. СМЧ образуются при высокотемпературных процессах, в частности при сжигании угля, и вместе с другими продуктами сгорания поступают в атмосферу. Основными источниками СМЧ на территории исследования служили паровые локомотивы, функционировавшие на железнодорожной линии Москва – Белгород – Харьков, которая была построена в 1868 г. Линия находится на расстоянии около 20 км от объектов исследования. Период нахождения СМЧ в исследуемых почвах и период оцениваемых процессов ЛМТВ почв составляет почти 150 лет. СМЧ могут сохраняться в почвах в течение длительного времени, как минимум несколько сотен лет [Геннадиев и др., 2004; Жидкин, 2010].

Современное распределение СМЧ в почвах катенарных сопряжений – результат их миграции вместе с твердофазным веществом почв. Сравнение запасов СМЧ в почвах склонов с их запасами в эталонной почве на плоских водораздельных участках, где перемещение твердофазного вещества практически отсутствует, позволяет оценить объем и темп миграции и аккумуляции твердофазного вещества почв. Исходные запасы СМЧ в эталонной почве на плоских водораздельных участках определяли с 10-кратной повторностью из образцов, отобранных случайно-систематическим методом (по спирали). Коэффициент вариации запасов трассера на пашнях составил лишь 21%, это низкое значение считается удовлетворительным при подобных исследованиях, проводимых с помощью других трассеров. Отбор и анализ проб почв на водораздельном участке и на

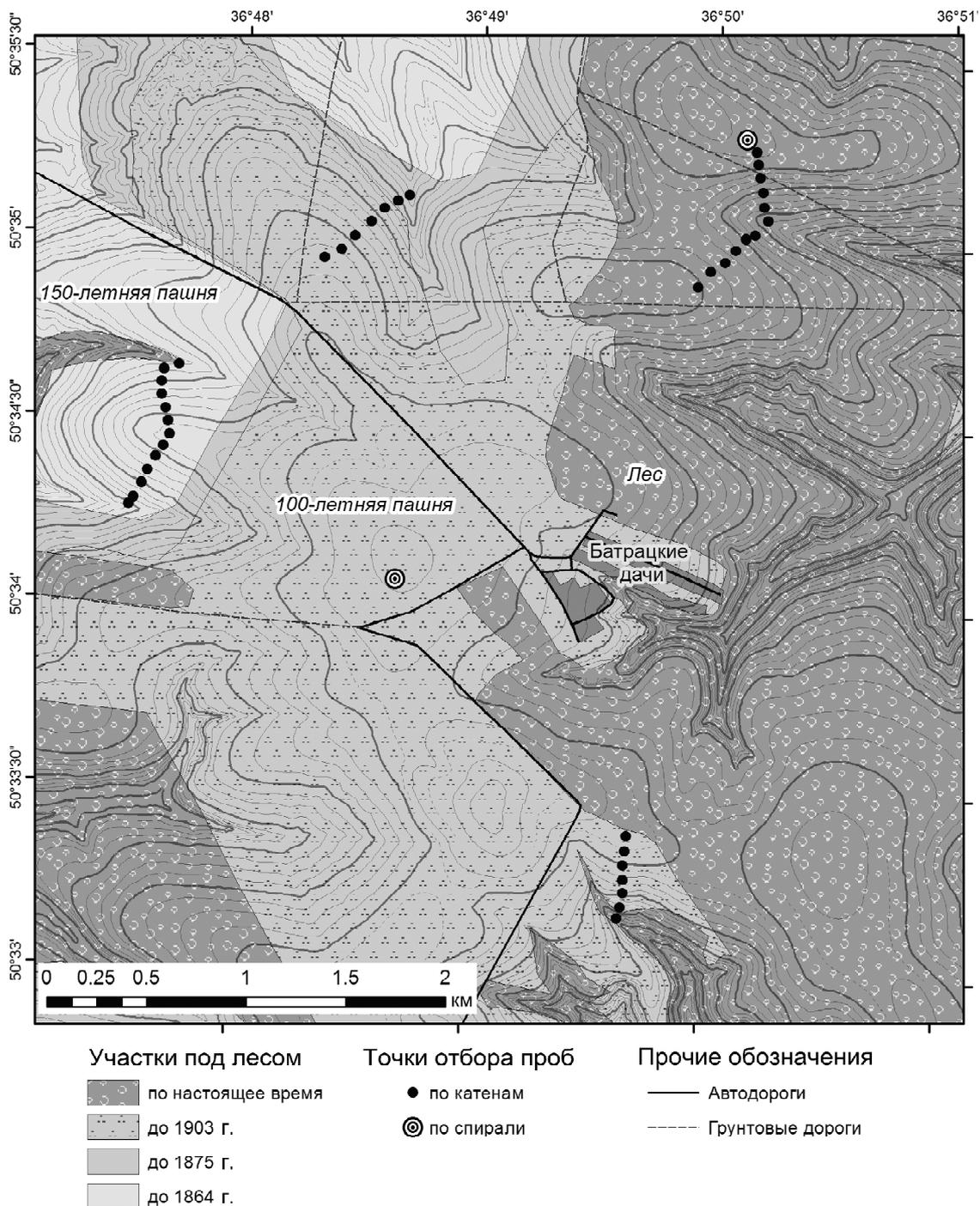


Рис. 1. Расположение исследованных катенарных сопряжений почв

Fig. 1. Location of the studied soil catenae

склонах проводили послойно с глубин 0–30 и 30–50 см. В слое 30–50 см запасы СМЧ составили в среднем лишь 8% от запасов в слое 0–30 см, проникновение СМЧ ниже 50 см в исследованных распахиваемых почвах оказалось незначительным. Поэтому расчет темпов ЛМТВ рассчитывали по суммарным запасам СМЧ в 50-сантиметровом слое. Основные методические подходы, применяемые к оценке ЛМТВ почв на основе метода магнитного трассера, описаны в работах [Геннадиев и др., 2004, 2013 и др.].

Расчет темпа миграции (–) и аккумуляции (+) твердофазного вещества распахиваемых почв на отдельных сегментах склонов (V_s , т/га в год) проводили согласно следующей формуле:

$$V_s = \frac{(X_n - X_{if})M_p D_n \cdot 100}{X_{if} T}, \quad (1)$$

где X_{if} – запасы СМЧ во всем почвенном профиле на плоском водораздельном участке (г/м² в слое); X_n – запасы СМЧ во всем почвенном профиле оце-

ниваемого сегмента склона (г/м^2 в слое); $X_{\text{гп}}$ – запасы СМЧ в пахотном горизонте почвы на плоском водораздельном участке (г/м^2 в слое); M_p – мощность пахотного слоя (см); D_n – плотность пахотного слоя оцениваемого сегмента склона (г/см^3); T – период нахождения СМЧ в почвах исследуемой территории (год).

Темп миграции (–) и аккумуляции (+) твердофазного вещества распаиваемых почв для всего склона (V , т/га в год) рассчитывали с учетом площадей сегментов склона (S_n , м^2) по формуле

$$V = \sum \frac{V_s S_n}{\sum S_n}. \quad (2)$$

На естественных лесных склонах расчет темпа перемещения почвенного вещества проводили иным образом, чем на пашнях, в связи с другим вертикальным распределением СМЧ. В целинных почвах СМЧ имеют аккумулятивно-регрессивное профильное распределение, в отличие от распаиваемых почв, где содержание СМЧ в верхнем пахотном горизонте распределяется по вертикали достаточно равномерно. Такие различия в профильном распределении СМЧ в верхних горизонтах почв вызывают необходимость учитывать изменения запасов СМЧ в целинных почвах, что осуществлено нами следующим образом. В исследуемой эталонной почве образцы из верхних горизонтов почв отбирали послойно. Запас СМЧ составил $1,19 \text{ г/м}^2$ в верхних 7 см, в слое 7–14 см – $0,99$; в слое 14–21 см – $0,51 \text{ г/м}^2$. Убыль запасов СМЧ (разница между запасами СМЧ в профиле почвы на склоне относительно запасов СМЧ в эталонной почве) сравнивали с послойными запасами СМЧ в эталонной почве. Например, на 4-й точке на залесенном склоне северной экспозиции убыль запасов СМЧ составила $0,4 \text{ г/м}^2$ в 50-сантиметровом слое пропорционально запасам СМЧ в верхних 7 см эталонной почвы. Эти различия соответствуют убыли 2,3 см почвы (согласно расчету: $0,4 \cdot 7 / 1,19$). На 5-й точке убыль запасов СМЧ составила $1,7 \text{ г/м}^2$ в 50 см, что превышает запасы СМЧ в верхних 7 см эталонной почвы, это свидетельствует о том, что было перемещено более 7 см почвы. Такую убыль запасов СМЧ сравнивали с запасом СМЧ в верхних 14 см почвы, она соответствует убыли 10,9 см почвы (согласно расчету: $1,7 - 14 / (1,19 + 0,99)$). Методика подобных расчетов описана в работе [Жидкин, 2010].

Результаты исследований и их обсуждение.

Характеристика почвенного покрова. Почвенный покров территории заметно отличается на целинных и пахотных участках. Почвы под современной лесной растительностью относятся к подтипу темно-серых лесных со вторым гумусовым горизонтом. В профиле выделяются: лесная подстилка (2–3 см), а также горизонты серогумусовый (с поверхности до глубины 14–19 см); переходный гумусово-элювиальный (до глубины 26–35 см), переходный текстурно-элювиально-гумусовый с признаками второго гумусового (до 40–60 см), элювиально-текстурный с признаками второго гумусового (до 56–

78 см), текстурные горизонты (до 85–110 см), сменяющиеся аккумулятивно-карбонатным горизонтом материнской породы.

На пашнях 100-летнего возраста, в отличие от лесных почв, отсутствуют признаки второго гумусового горизонта. Почвы относятся к черноземам оподзоленным, близким к подтипу освоенных темно-серых лесных почв. Профиль этих почв включает следующие горизонты: пахотный (26 см); элювиально-гумусовый (до глубины 32 см); гумусово-элювиально-текстурный (до 54 см); элювиально-текстурный с заметной гумусовой прокраской (до 65 см); текстурный с признаками глееватости (до 113 см); аккумулятивно-карбонатный с мицеллярными и сегрегационными новообразованиями.

Для почвенного покрова участка с 150-летним сельскохозяйственным освоением характерны черноземы выщелоченные и оподзоленные освоенные. Профиль включает горизонты: пахотный (до глубины 28 см), гумусовый (до 36 см), переходный гумусовый с признаками побурения (до 45 см), переходный иллювиально-глинистый с признаками гумусонакопления (до 56 см), глинисто-иллювиальный (до 76 см), переходный к почвообразующей породе.

Влияние длительности распашки на латеральную миграцию твердофазного вещества почв. На основе метода магнитного трассера рассчитаны и соотнесены между собой значения среднегодового темпа миграции и аккумуляции вещества почв на склонах разновозрастных пашен (таблица). Полученные значения среднегодового темпа ЛМТВ распаиваемых почв варьируют от 3,2 до 6,5 т/га в год на 100-летней пашне и от 6,6 до 8,6 т/га в год на 150-летней пашне на склонах разных экспозиций, что в целом соответствует средним значениям по Белгородской области, приведенным в литературе и в более ранних исследованиях авторов [Голосов и др., 2011; Жидкин, Чендев, 2014; Литвин, 2002; Чендев и др., 2008].

На молодой пашне отмечена менее интенсивная миграция вещества почв, чем на 150-летней пашне, особенно это проявляется на склонах одинаковой экспозиции: 6,5 т/га в год относительно 8,6 т/га в год на склонах южной экспозиции и 3,2 т/га в год относительно 6,6 т/га в год на склонах северной экспозиции.

Менее интенсивные проявления ЛМТВ почв на молодой пашне по сравнению со староосвоенной территорией отмечены и в максимальном темпе миграции вещества на отдельных частях исследованных склонов. Так, на склонах разной экспозиции на 100-летней пашне максимальный темп ЛМТВ почв достигал 10,9 и 14,1 т/га в год, а на 150-летней пашне – 14,0 и 18,6 т/га в год (рис. 2). Кроме того, разновозрастные пашни характеризуются разным темпом выноса твердофазного вещества почв за пределы катенарных сопряжений. На более молодой пашне этот показатель ниже и составляет 3,5–5,1 т/га в год, в то время как на староосвоенных территориях варьирует от 6,6 до 8,3 т/га в год (таблица).

Количественные характеристики латеральной миграции и аккумуляции твердофазного вещества почв на исследованных склонах участка Батрацкие Дачи

Экспозиция	Режим землепользования	Темп миграции вещества почв на склоне, т/га в год	Темп аккумуляции вещества почв на склоне, т/га в год	Вынос вещества почв за пределы склона, т/га в год	Потери вещества почв за весь период распашки, т/га
Южная	Лес	1,1	1,4	0,0	–
Северная	Лес	2,2	0	2,2	–
Южная	100-летняя пашня	6,5	1,4	5,1	~500
Северная		3,2	0,7	2,5	~250
Южная	150-летняя пашня	8,6	0,3	8,3	~1250
Северная		6,6	0	6,6	~1000

Меньшие значения среднегодового темпа ЛМТВ почв на молодой пашне по сравнению со староосвоенными землями на ключевом участке Батрацкие Дачи могут быть обусловлены общим уменьшением скорости миграции твердофазного вещества почв за последние полтора века.

Уменьшение темпа смыва вещества почв отмечено в работе авторов [Голосов и др., 2011], где был сопоставлен темп смыва вещества почв, полученный методом магнитного трассера (за последние 150 лет) и радиоцезиевым методом (за последние 25 лет). Для всех исследованных склонов южной экспозиции на ключевых участках в Тульской, Курской и Белгородской областях установлено, что средний темп смыва почвенного вещества за последние 20–25 лет заметно меньше, чем за 140–150-летний период распашки.

Сделанный ранее вывод об уменьшении среднемноголетнего темпа смыва почв детализируется и подтверждается при другом подходе, а именно при сравнении темпа ЛМТВ почв на разновозрастных пашнях, которое проводилось на основе использования одного метода магнитного трассера. Также нами показано, что снижение темпа ЛМТВ почв происходит как на склонах южной, так и северной экспозиции.

Установленное явление уменьшения скорости смыва вещества почв в среднем за 100-летний период распашки по сравнению с пашней 150-летнего возраста, вероятно, обусловлено потеплением климата и резким сокращением поверхностного стока в период весеннего снеготаяния. В последние несколько десятилетий отмечено повышение среднезимней температуры воздуха, приводящее к уменьшению глубины промерзания почв и как следствие к снижению коэффициента поверхностного стока [Кумани, 2004;

Петелько, Богачева, 2009]. Современное уменьшение поверхностного стока в период весеннего снеготаяния испытывают все исследованные разновозрастные пашни. Однако вклад последних десятилетий в среднюю скорость миграции вещества почв за последние 100 лет существенно выше, чем за последние 150 лет. Поэтому средний темп ЛМТВ почв за 100-летний период оказывается ниже, чем за 150-летний период.

В связи с разной интенсивностью ЛМТВ почв и длительностью распашки объем потерь твердофазного вещества почв на разновозрастных пашнях существенно отличается. На молодой пашне потери твердофазного вещества почв за весь период распашки составили от 250 до 500 т/га, а на староосвоенной пашне они оказались в несколько раз выше

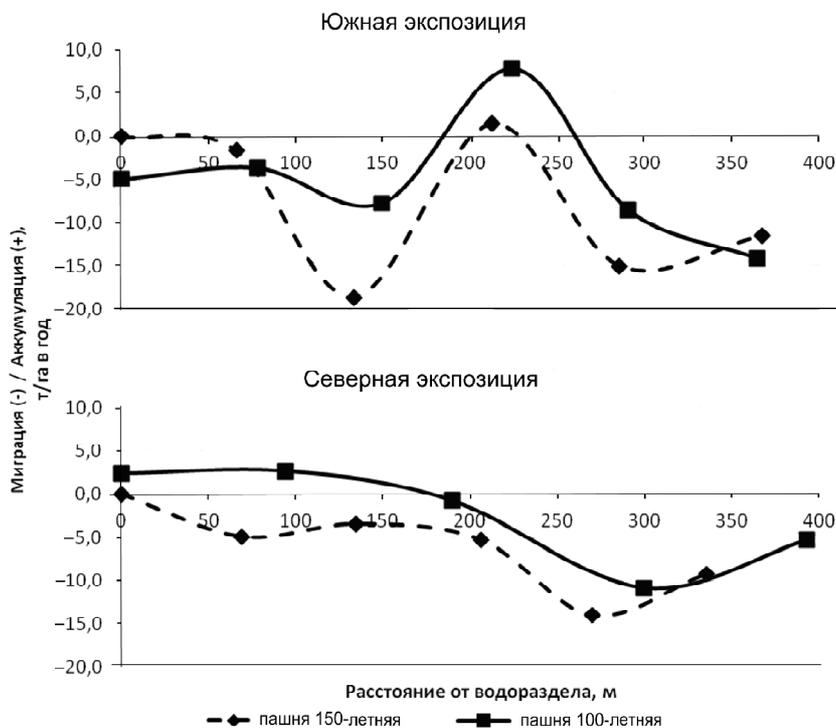


Рис. 2. Темп ЛМТВ почв на разновозрастных пашнях на склонах разной экспозиции
 Fig. 2. Lateral migration rates of soil solid-phase matter on cropland slopes with different exposure

и характеризуются величинами в диапазоне 1000–1250 т/га за 150 лет распашки. Такого рода результаты, характеризующие историю освоения земель, необходимо учитывать при планировании противоэрозионных мероприятий и землеустроительных работ.

На основе расчетов выявлены четкие различия во внутрисклоновой аккумуляции наносов между разновозрастными пашнями. На 100-летней пашне аккумуляция наносов отмечена на склонах обеих экспозиций и составляет 0,7 т/га в год на склоне северной экспозиции и 1,4 т/га в год на склоне южной экспозиции. В свою очередь на 150-летней пашне аккумуляция наносов практически отсутствует – <0,3 т/га в год. Разная скорость аккумуляции вещества почв, выявленная для разновозрастных пашен, видимо, обусловлена теми же причинами, что и изменение темпа миграции вещества, отмеченными ранее. В связи с потеплением климата происходит не только снижение общей скорости миграции вещества почв, но и уменьшение той составляющей транспортирующей силы водных потоков, которая приводит к увеличению объема внутрисклоновой аккумуляции наносов.

Для естественных лесных склонов, в отличие от распахиваемых земель, необходимо учитывать ряд дополнительных факторов, чтобы корректно оценить темп миграции и аккумуляции твердофазного вещества почв. В лесных целинных условиях следует иметь в виду не только явления смыва почв поверхностными водными потоками, но и существенные динамические воздействия на почвы со стороны растений и животных. При полевых обследованиях на лесных склонах обнаружены единичные вывалы деревьев (преимущественно в нижних частях склонов), а также участки с сильно нарушенными поверхностями в результате роющей и вскапывающей деятельности животных (в частности, кабанов).

В связи с высокой вариабельностью проявления процессов транслокации почвенного твердофазного вещества под лесом анализ запасов СМЧ выполнен по двум дублирующим катенам на каждом склоне. Установлено, что темп перемещения почвенного вещества на лесных склонах небольшой и в среднем по катенам составляет всего 1–2 т/га в год, т.е. в пределах погрешности метода исследования. Однако в отдельных случаях в средних и нижних частях лесных склонов, в местах с наиболее нарушенными поверхностями темп перемещения твердофазного вещества почв достигал 8–10 т/га в год, что, скорее всего, связано с активной роющей деятельностью животных (в первую очередь кабанов, которых привлекают места с обилием дубовых насаждений). В этих местах усилена зоогенная турбация почв, происходит нарушение сплошности растительного покрова и, как следствие, усилен смыв почв. Подчеркнем, что участки с повышенной степенью локальной турбириванности почв не вносят существенный вклад в общую массу потерь вещества почв со всего лесного склона.

Выявленная разная скорость перемещения вещества почв под лесом, на молодой и староосвоенной пашнях объясняет некоторые морфологические свойства исследованных почв. Под лесом с низким темпом миграции твердофазного вещества изменение морфологических свойств почв в пределах склонов слабое. Наблюдается небольшое уменьшение мощности гумусовых горизонтов в почвах в верхних пологих частях склонов по сравнению с водораздельными позициями. У подножий склонов гумусовый горизонт имеет повышенную мощность на залесенных склонах обеих экспозиций. На 100-летней пашне с более высокой ЛМТВ почв, чем под лесом, морфологические почвенные свойства на склонах более контрастные по сравнению с лесным участком. Мощность гумусовых горизонтов максимальна на пологих склонах и снижается на водоразделе и крутом участке нижней трети склона. На склоне северной экспозиции также выше амплитуда колебаний мощности гумусового горизонта по сравнению с лесным участком. На пашне 150-летнего возраста с максимальным на исследованной территории темпом ЛМТВ почв мощность гумусового профиля черноземов выщелоченных и оподзоленных резко изменяется по склону – выявлены как максимальные среди всех изученных почв значения (в почвах подножий склонов северной экспозиции), так и минимальные (в нижней трети склона южной экспозиции).

Влияние экспозиции склонов на латеральную миграцию твердофазного вещества почв. В литературе имеются данные, свидетельствующие о более высокой скорости эрозии почв на склонах с «теплой» (южной) экспозицией относительно северных склонов [Луцицкая, Башкин, 1994; Голосов, 2006; Проценко, 2004 и др.]. Ранее нами [Геннадиев и др., 2010] установлено, что на морфологически сходных склонах с крутизной 5–6° различия в темпе смыва почв на склонах с противоположной экспозиций доходили до 6 раз на ключевом участке в Тульской области и до 2,5 раз на ключевом участке в Курской области.

Полученные нами результаты также свидетельствуют о повышенном темпе миграции твердофазного вещества почв на склонах южной экспозиции относительно северной, однако различия не столь велики и составляют 1,3–2 раза. Так, на 100-летней пашне на склоне южной экспозиции ЛМТВ почв составила 6,5 т/га в год, а на склоне северной экспозиции – 3,2 т/га в год. На 150-летней пашне на склоне южной экспозиции ЛМТВ почв составила 8,6 т/га в год, а на склоне северной экспозиции – 6,6 т/га в год (таблица).

Разную скорость смыва почв на склонах разной экспозиции в литературе связывают преимущественно с талым смывом. Предполагается, что при движении от более холодных к более теплым регионам экспозиционный эффект может ослабевать в связи с уменьшением вклада талого смыва в суммарный объем миграции твердофазного вещества почв. В результате обобщения полученных нами

данных в Тульской, Курской и Белгородской областях установлен определенный зональный тренд в изменении количественной характеристики экспозиционного эффекта при проявлениях ЛМТВ почв. Экспозиционный эффект направленно ослабевает на очень сходных по морфологии склонах: в Тульской области экспозиционные различия составляют 6 раз, в Курской области – 2,5 раза, а в Белгородской области лишь 1,3–2 раза на очень сходных по морфологии склонах.

Помимо параметризации темпов ЛМТВ почв проведен пространственный анализ локализации зон миграции и аккумуляции твердофазного вещества почв. Установлено подобие миграционно-аккумулятивных кривых для склонов с одинаковой экспозицией (рис. 2).

Для описания миграционной структуры исследованных катен мы вводим следующие термины, характеризующие сегменты катен с разной скоростью миграции и аккумуляции твердофазного вещества почв:

– *прогрессивно-миграционный сегмент* – участок склона, на котором преобладает вынос твердофазного вещества почв, и при движении вниз по склону темп миграции вещества почв возрастает;

– *регрессивно-миграционный сегмент* – участок склона, на котором преобладает вынос твердофазного вещества почв, и при движении вниз по склону темп миграции вещества почв уменьшается;

– *стационарно-миграционный сегмент* – участок склона, на котором по всей длине темп миграции вещества почв практически одинаков и составляет >3 т/га в год;

– *аккумулятивный сегмент* – участок склона, на котором преобладает аккумуляция твердофазного вещества почв;

– *стационарный сегмент* – участок склона, на котором отсутствует вынос или аккумуляция твердофазного вещества почв (в пределах 2–3 т/га в год), такой сегмент обычно приурочен к приводораздельным участкам.

Рассмотрим особенности пространственного проявления латеральной миграции и аккумуляции твердофазного вещества почв на освоенных склонах южной экспозиции (рис. 2). На 150-летней пашне в пределах верхних 70 м на приводораздельном участке склона выделяется стационарный сегмент, характеризующийся отсутствием миграции или аккумуляции вещества почв. Склон молодой пашни южной экспозиции начинается на плоской, очень слабонаклонной поверхности, занятой с одной стороны лесом, а с другой стороны – староосвоенной пашней. В связи с этим в пределах верхних 70–80 м на 100-летней пашне выделяется стационарно-миграционный сегмент с небольшим темпом выноса вещества почв (3,5–5 т/га в год).

Ниже по склонам южной экспозиции на расстоянии от 70–80 до 140–150 м выделен прогрессивно-миграционный сегмент катены, характеризующийся нарастанием миграции вещества до 7,7 т/га в год на 100-летней пашне и до 18,6 т/га в год на 150-лет-

ней пашне. Вниз по склону на 100-летней пашне на расстоянии от 150 до 180 м выделен регрессивно-миграционный сегмент склона, ниже сменяющийся аккумулятивным сегментом протяженностью около 80 м с темпом ЛМТВ, достигающим 7,9 т/га в год. На 150-летней пашне на расстоянии от 140 до 200 м выделен также регрессивно-миграционный сегмент склона, сменяющийся относительно коротким аккумулятивным сегментом протяженностью 20–30 м с небольшим (до 1,5 т/га в год) темпом аккумуляции. Ниже аккумулятивных сегментов на обоих склонах выделены прогрессивно-миграционные сегменты с нарастанием скорости миграции вещества почв до 14,1 т/га в год на 100-летней пашне и до 14,9 т/га в год на 150-летней пашне. На 150-летней пашне южной экспозиции в самой нижней части катены отмечено повторное уменьшение темпа ЛМТВ почв до 11,5 т/га в год.

На склонах северной экспозиции характер пространственной локализации зон миграции и аккумуляции твердофазного вещества почв существенно отличается от таковых на склонах южной экспозиции (рис. 2). На 100-летней пашне на протяжении 200 м от водораздела выделен стационарный сегмент, в пределах которого миграция или аккумуляция вещества почв практически отсутствует (<3 т/га в год). На склоне со 150-летней пашней на верхних 60 м склона выявлено нарастание скорости миграции вещества, которые к окончанию сегмента стабилизируются в интервале 3,5–5,5 т/га в год. На обеих пашнях на расстоянии около 200 м от водораздела стационарный и стационарно-миграционный сегменты сменяются прогрессивно-миграционным, протягивающимся на 260–300 м от водораздела. Максимальный темп смыва на этом сегменте на обеих пашнях достаточно близок – 13,8 т/га в год на 100-летней пашне и 16,8 т/га в год на 150-летней пашне. Ниже по склонам до их окончания прогрессивно-миграционные сегменты сменяются регрессивно-миграционными с темпом миграции в нижних частях катен 5,3 и 9,2 т/га в год.

В пределах изученных склонов отмечается волнообразный характер смены зон с разной скоростью миграции и аккумуляции вещества почв. При этом протяженность прогрессивно-миграционных сегментов исследованных катен варьирует от 60 до 100 м вне зависимости от экспозиции; регрессивно-миграционные сегменты имеют протяженность 30–60 м на склонах южной экспозиции и 90–100 м на склонах северной экспозиции; стационарные и миграционно-стационарные сегменты имеют протяженность 70–80 м на склонах южной экспозиции и 140–200 м на склонах северной экспозиции; аккумулятивные сегменты наблюдаются только на склонах южной экспозиции, их протяженность варьирует от 30 до 80 м. В целом исследованные склоны южной экспозиции характеризуются более частой сменой и меньшей протяженностью выделенных сегментов.

Таким образом, несмотря на разные длительность распашки и темп ЛМТВ почв, пространствен-

ная локализация зон миграции и аккумуляции вещества почв на разновозрастных пашнях оказалась достаточно сходной на склонах одной экспозиции. Различия проявились только в том, что миграционно-аккумулятивные кривые сдвинуты в сторону более высокой скорости ЛМТВ почв на пашне с более длительным периодом освоения.

Приведенные выше характеристики миграционной структуры изученных почвенных катен, возможно, в какой-то степени имеют случайный характер, что требует дальнейших исследований. Но в принципе не исключено, что полученные результаты пространственной смены ускорения и замедления темпа ЛМТВ почв в пределах разных сегментов склона могут дать новую информацию о явлениях латерального перемещения твердофазного вещества почв.

Выводы:

– показана существенная значимость ЛМТВ почв в формировании субстантивных потоков в пределах почвенно-геохимических катен исследованной территории. Получен комплекс данных, характеризующих как пространственные, так и временные параметры ЛМТВ почв. Выявлено уменьшение среднегодовой скорости миграции и аккумуляции твердофазного вещества почв на относительно молодых пашнях по сравнению со староосвоенными территориями, что, вероятно, обусловлено происходящим в последние десятилетия потеплением климата и резким сокращением поверхностного стока в период весеннего снеготаяния. Этот эффект выявлен как для катен южных, так и для катен северных склонов;

– установлено, что на залесенных участках скорость перемещения почвенного вещества относительно небольшая в среднем по катенам, однако в отдельных частях лесных склонов она достигает 8–10 т/га в год, что, скорее всего, связано как с собственно роющей деятельностью животных, так и с вызванной ею зоогенной эрозией;

– выявлено, что склоны южных экспозиций характеризуются более высокой скоростью ЛМТВ почв по сравнению со склонами северной экспозиции. В результате обобщения результатов исследований и предыдущих работ авторов выявлен зональный тренд в изменении количественной характеристики экспозиционного эффекта при проявлениях ЛМТВ почв. В ряду Тульская, Курская и Белгородская области экспозиционный эффект направленно ослабевает: в Тульской области экспозиционные различия составляют 6 раз, в Курской области – 2,5 раза, а в Белгородской области лишь 1,3–2 раза на очень сходных по морфологии склонах;

– в пределах изученных склонов отмечен волнообразный характер миграционно-аккумулятивных кривых. На исследованных распахиваемых склонах, сходных морфологически, выявлено подобие латерального расположения зон с разной интенсивностью миграции и аккумуляции вещества почв при одинаковой экспозиции склонов. Выявлены существенные отличия в длине сегментов склонов с различными проявлениями миграции и аккумуляции твердофазного вещества почв, связанные с разной экспозицией склонов.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта РГО-РФФИ (проект № 13-05-41158).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Геннадиев А.Н., Жидкин А.П., Олсон К.Р., Качинский В.Л.* Эрозия почв в различных условиях землепользования: оценка методом магнитного трассера // Почвоведение. 2010. № 9. С. 1126–1134.
- Геннадиев А.Н., Кошовский Т.С., Жидкин А.П., Ковач Р.Г.* Латеральная миграция твердофазного вещества почв в пределах ландшафтно-геохимической арены (метод магнитного трассера) // Почвоведение. 2013. № 10. С. 1–12
- Геннадиев А.Н., Чернянский С.С., Ковач Р.Г.* Сферические магнитные частицы как микрокомпоненты почв и трассеры массопереноса // Почвоведение. 2004. № 5. С. 566–580.
- Голосов В.Н.* Эрозионно-аккумулятивные процессы в речных бассейнах освоенных равнин. М.: ГЕОС, 2006. 296 с.
- Голосов В.Н., Геннадиев А.Н., Олсон К.Р.* и др. Пространственно-временные особенности развития почвенно-эрозионных процессов в лесостепной зоне Восточно-Европейской равнины // Почвоведение. 2011. № 7. С. 861–869.
- Горшков С.П.* Круговорот продуктов денудации суши // Круговорот вещества в природе и его изменение хозяйственной деятельностью человека. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1980. С. 34–55.
- Жидкин А.П.* Количественная оценка механической миграции вещества методом магнитного трассера: Автореф. канд. дисс. М., 2010. 26 с.
- Жидкин А.П., Чендев Ю.Г.* Обзор существующих представлений об эрозии почв в Белгородской области // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер. Естественные науки. 2014. № 23. С. 147–155.
- Кумани М.В.* Способы регулирования почвенно-эрозионных процессов и гидрологического режима агроландшафтов Центрально-Черноземной зоны: Автореф. докт. дисс. Курск, 2004. 45 с.
- Литвин Л.Ф.* География эрозии почв сельскохозяйственных земель России. М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. 255 с.
- Луцицкая О.А., Баикин В.Н.* Плодородие почв и рельеф // Почвоведение. 1994. № 9. С. 75–79.
- Перельман А.И.* Геохимия ландшафта. М.: Высшая школа, 1961. 496 с; 1975. 340 с.
- Перельман А.И., Касимов Н.С.* Геохимия ландшафта: Учеб. пособие. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Астрель-2000, 1999. 798 с.
- Петелько А.И., Богачёва О.В.* Влияние агрофона на сток талых вод: Мат-лы 24-го пленарного межвузовского коорд. совещания по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Барнаул: Изд-во Алтайского госуниверситета, 2009. С. 166–169.
- Проценко Е.П.* Базовые свойства и режимы почв полярно ориентированных склонов: Автореф. докт. дисс. Курск, 2004. 46 с.
- Чендев Ю.Г., Петин А.Н., Серикова Е.В., Крамчианов Н.Н.* Деградация геосистем Белгородской области в результате хозяйственной деятельности // География и природные ресурсы. 2008. № 4. С. 69–75.

Поступила в редакцию 02.02.2016
Принята к публикации 16.03.2016

A.P. Zhidkin¹, A.N. Gennadiev²,
T.S. Koshovskii³, Yu.G. Chendev⁴

SPATIO-TEMPORAL PARAMETERS OF THE LATERAL MIGRATION
OF SOLID-PHASE SOIL MATTER (BELGOROD REGION)

Spatial and temporal parameters of the lateral migration of solid-phase matter (LMSM) of soils were determined for the key sites in Belgorod Region, Russia. We studied virgin forested and arable slopes with different period of plowing. The average annual rates of migration and accumulation of soil solid phase matter decrease on young croplands (plowing period of 100 years) compared to old-arable territories (150 years); both, for south-facing catenae, as well as for north-facing ones. We assessed the characteristics of soil matter transport on virgin forested slopes related to zoogenic factor. The regional trend of the change of slope exposure effect on LMSM of soils was quantitatively characterized. The similarity of the lateral pattern of zones with different intensity of migration and accumulation of soil matter on slopes with similar exposure was revealed. The following segments of catenae distinguished by acceleration or deceleration of LMSM of soils were described: stationary, progressive-migratory, regressive-migratory, stationary-migratory, and accumulative ones.

Keywords: lateral migration, soil erosion, solid-phase matter, exposure of slopes, soil catenae.

Acknowledgements. The study was financially supported by the joint project of the Russian Geographical Society and Russian Foundation for Basic Research (project N 13-05-41158).

REFERENCES

- Chendev Ju.G., Petin A.N., Serikova E.V., Kramchaninov N.N. Degradacija geosistem Belgorodskoj oblasti v rezul'tate hoz'jajstvennoj dejatel'nosti [Degradation of geosystems in the Belgorod region as a result of the economic activities], *Geografija i prirodnye resursy*, 2008, vyp. 29, no 4, pp. 348–353. (in Russian).
- Gennadiev A.N., Chernjanskii S.S., Kovach R.G. Magnetic spherules as soil microcomponents and tracers of mass-transfer processes // *Eurasian soil science*. 2004. N 5. P. 486–499.
- Gennadiev A.N., Koshovskii T.S., Zhidkin A.P., Kovach R.G. Lateral migration of soil solid-phase material within a landscape-geochemical arena detected using the magnetic tracer method // *Eurasian soil science*. 2013. N 10. P. 983–993.
- Gennadiev A.N., Zhidkin A.P., Olson K.R., Kachinskii V.L. Soil erosion under different land uses: assessment by the magnetic tracer method // *Eurasian soil science*. 2010. N 9. P. 1047–1054.
- Golosov V.N. Jerozionno-akkumuljativnye processy v rechnyh bassejnah osvoennyh ravnin [Erosion-accumulative processes in river basins of cultivated plains], Moscow, GEOS, 2006, 296 p. (in Russian).
- Golosov V.N., Gennadiev A.N., Olson K.R. et al. Spatial and temporal features of soil erosion in the forest-steppe zone of the east-european plain // *Eurasian soil science*. 2011. N 7. P. 794–801.
- Gorshkov S.P. Krugovorot produktov denudacii sushi [Circulation of products of land denudation], *Krugovorot veshhestva v prirode i ego izmenenie hoz'jajstvennoj dejatel'nosti cheloveka*, Moscow, Izd-vo Mosc un-ta, 1980, pp. 34–55 (in Russian).
- Kumani M.V. Sposoby regulirovanija pochvenno-jerozionnyh processov i gidrologicheskogo rezhima agrolandshaftov Central'no-Chernozemnoj zony [Methods of regulation of hydrological regime of croplands in Central-Chernozem region]: Avtoref. doct. dis. Kursk, 2004, 45 p. (in Russian).
- Litvin L.F. Geografija jerozii pochv sel'skohoz'jajstvennyh zemel' Rossii [Geography of soil erosion of arable lands of Russia], Moscow, IKC «Akademkniga», 2002, 255 p. (in Russian).
- Luchickaja O.A., Bashkin V.N. Plodorodie pochv i rel'ef [Soil fertility and relief], *Pochvovedenie*, 1994, no 9, pp. 75–79 (in Russian).
- Perel'man A.I. Geohimija landshafta [Geochemistry of landscapes], Moscow, Vysshaja shkola, 1961, 496 p. (in Russian).
- Perel'man A.I. Geohimija landshafta [Geochemistry of landscapes], Moscow, Vysshaja shkola, 1975, 340 p. (in Russian).
- Perel'man A.I., Kasimov N.S. Geohimija landshafta: Uchebnoe posobie. [Geochemistry of landscapes: educational book], Moscow, Astreja-2000, 1999, 798 p. (in Russian).
- Petel'ko A.I., Bogachjova O.V. Vlijanie agrofona na stok tal'nyh vod [Influence of cultivation on melt-water run-off], *Mat-ly 24-go plenarnogo mezhvuzovskogo koordinacionnogo soveshhanija po probleme jerozionnyh, ruslovyh i ust'evykh processov*. Barnaul, izd-vo Altajskogo gosuniversiteta, 2009, pp. 166–169 (in Russian).
- Procenko E.P. Bazovye svojstva i rezhimy pochv poljarno orientirovannyh sklonov [Basic properties and regimes of soils of polar-oriented slopes]: Avtoref. doct. dis. Kursk, 2004, 46 p. (in Russian).
- Zhidkin A.P. Kolichestvennaja ocenka mehanicheskoj migracii veshhestva metodom magnitnogo trassera [Quantitative assessment of mechanical migration of soil matter by magnetic tracer method]: Avtoref. kand. diss., Moscow, 2010, 26 p. (in Russian).
- Zhidkin A.P., Chendev Ju.G. Obzor sushhestvujushih predstavlenij ob jerozii pochv v Belgorodskoj oblasti [Review of current approaches of soil erosion in Belgorod region, Russia], *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija Estestvennye nauki*. 2014, no 23, pp. 147–155 (in Russian).

Received 02.02.2016

Accepted 16.03.2016

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Research Scientist, PhD in Geography; *e-mail:* gidkin@mail.ru

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Professor, D.Sc. in Geography; *e-mail:* alexagenna@mail.ru

³ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Landscape Geochemistry and Soil Geography, Engineer; *e-mail:* tkvz@ya.ru

⁴ Belgorod State University, Faculty of Mining and Environmental Management, Head of Laboratory, D.Sc. in Geography; *e-mail:* sciences@mail.ru