

УДК 631.4

**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ ВТОРИЧНОЙ
АККУМУЛЯЦИИ ГУМУСА В СТАРОПАХОТНЫХ ГОРИЗОНТАХ
ЗАЛЕЖНЫХ СВЕТЛО-СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ**

*К.Г. Гиниятуллин, А.А. Шинкарев, А.Г. Фазылова,
К.И. Кузьмина, А.А. Шинкарев (мл.)*

Аннотация

Изучена пространственная неоднородность вторичного гумусонакопления в старопахотных залежных светло-серых лесных почвах с различным исходным варьированием содержания гумуса в пахотном горизонте до их перехода в залежное состояние. Показано, что дифференциация гумуса в старопахотном горизонте залежных почв характеризуется сильной вариабельностью, значительно превышающей исходную в пахотных почвах. Она носит случайный характер и не связана с исходным содержанием гумуса в пахотной почве. Гумусонакопление в залежных почвах происходит прежде всего за счет формирования грубого (детритного) органического вещества, и характер его пространственного распределения связан с микропестротой залежной растительности в начальный период зарастания пашни и сукцессий растительного покрова.

Ключевые слова: залежные светло-серые лесные почвы, аккумуляция органического вещества, пространственная неоднородность.

Введение

Практика периодического оставления земель на долгое время без обработки для восстановления плодородия почв без участия человека характерна для раннего периода развития земледелия в лесных и степных районах. Однако изменение системы землепользования в России в последние два десятилетия привело к заметному увеличению площади залежных земель. По разным данным общая площадь пахотных угодий, выведенных из обработки в последнее время в Российской Федерации, сильно варьирует и может составлять от 9.3 млн. га до 34 млн. га [1]. По некоторым оценкам площадь заброшенных сельскохозяйственных угодий может достигать 44.4 млн. га, что составляет 22.1%, причем в некоторых регионах площадь таких земель может быть больше 50% от исходной площади сельскохозяйственных угодий [2]. Образование залежей в лесной зоне сопровождается самопроизвольными сукцессиями вначале сорной (пионерная стадия зарастания), затем луговой и древесной растительности [2], и этот естественный процесс, в пределе, должен привести к восстановлению исходной растительности и существенному изменению состояния старопахотных почв. Его следует рассматривать как важный фактор современной эволюции почв России. Согласно исследованиям Кургановой с соавторами [1], при выведении пахотных почв из оборота скорость аккумуляции органического вещества (ОВ) в бывшем пахотном слое (0–20 см) составляет в среднем 99 ± 14 г С/м²·год.

При этом зависимости скорости его накопления от длительности периода восстановления наиболее удовлетворительно описываются отрицательными логарифмическими функциями, то есть максимальная аккумуляция ОВ характерна для начального периода зарастания старопахотных земель. Природоохранные и агрономические аспекты секвестрации органического углерода в залежных почвах очевидны, и в настоящее время это направление научных исследований интенсивно разрабатывается в России. К сожалению, в большинстве работ практически не учитывается, что для любых объективных количественных оценок необходим учет вариабельности состава и свойств почвенной массы.

Пространственная изменчивость свойств почвенного покрова достаточно долго воспринималась как показатель, обусловленный сменой в пространстве почвенных таксонов, которым эти свойства соответствуют, а неодинаковость значений этих свойств в пределах малых расстояний рассматривалась как случайная ошибка, связанная с пробоотбором, пробоподготовкой или используемыми методами анализа. В настоящее время микропестрота почв и горизонтальное пространственное варьирование свойств почвенных разновидностей показаны множеством работ и воспринимаются как фундаментальные свойства самого почвенного покрова [3]. Для характеристики пространственной неоднородности почвенных свойств используются различные подходы: от оценки коэффициента вариации или соответствия законам распределения до построения пространственных геостатистических моделей [4, 5]. Однако при исследовании пространственной неоднородности почвенных свойств из вариабельности, обусловленной формированием почвы как естественного исторического тела или предысторией ее использования, часто не вычленяется динамичная составляющая, связанная с современным состоянием почв.

Образование залежей в лесной зоне сопровождается самопроизвольными сукцессиями сорной, луговой и древесной растительности, при этом на старопахотный горизонт сверху накладывается формирование вторичного гумусово-аккумулятивного горизонта, а в нижней части (возможно) – горизонта оподзоливания [6]. В результате в границах исходно более или менее однородного пахотного горизонта, сформировавшегося при систематической отвальной основной обработке, образуются слои с различным гумусовым состоянием [7]. Для быстрой диагностики изменения гумусового состояния залежных почв и оценки масштабов и характера вторичной аккумуляции гумуса удобно использовать величину содержания гумуса как функцию от глубины старопахотного горизонта.

Цель настоящей работы – изучение пространственной неоднородности вторичной аккумуляции гумуса в старопахотных залежных светло-серых лесных почвах (неэродированной и слабоэродированной) с различным исходным варьированием содержания гумуса в пахотном горизонте.

1. Объекты и методы

Объектами исследования были залежные светло-серые лесные почвы – слабоэродированная на слабопокатом склоне (залежь 25–30 лет) и неэродированная на водораздельной возвышенности (залежь 7–8 лет), расположенные в Верхнеуслонском районе Республики Татарстан. В настоящее время оба массива находятся

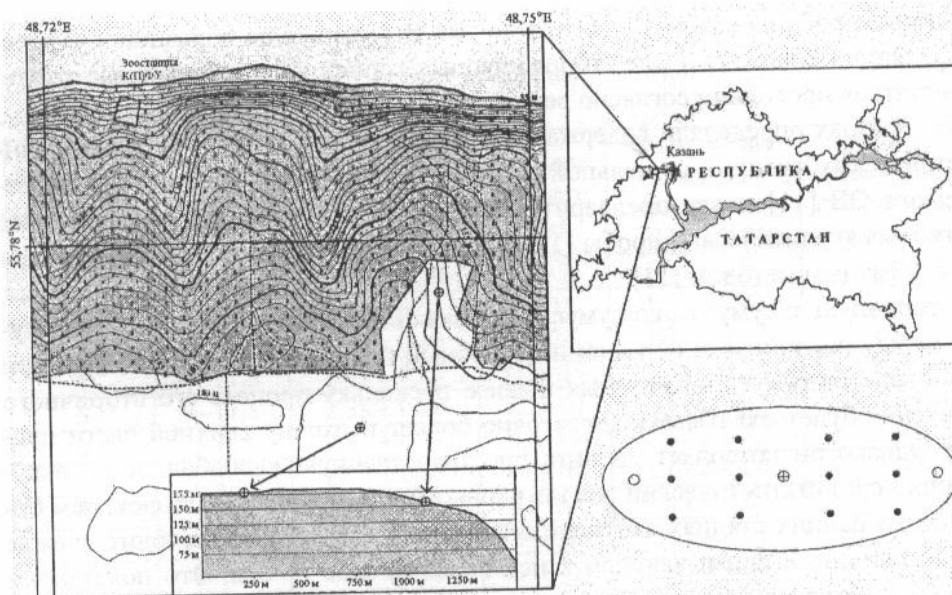


Рис. 1. Местоположение изучаемого участка и общая схема репрезентативного отбора образцов почвы

под залежной лугово-разнотравной растительностью, зарастающей березой, осинной и единичной сосной.

При планировании пробоотбора ориентировались на репрезентативные подходы к отбору образцов, разработанные для оценки загрязненности почв [8]. Поставленная цель предполагала отбор образцов из верхней и нижней частей старопашотного горизонта в каждой из заданных точек сэмплинга на достаточно однородном по рельефу и почвенным свойствам участке. Применение традиционных методов пробоотбора, таких как рандомизированный отбор, отбор по систематической решетке или систематический рандомизированный отбор, охватывающих и характеризующих весь почвенный контур (или участок загрязнения), в данном случае было нецелесообразно. Не мог использоваться также и чисто поисковый подход к отбору образцов, ориентированный на выделение наиболее типичных точек пробоотбора, так как он не обеспечивал необходимой репрезентативности выборки.

В центральной части исследуемого контура предполагалось выделение наиболее типичного участка изучаемой почвы, в границах которого планировалось провести систематический отбор проб, поэтому использовали своеобразное сочетание поискового и систематического отборов. Участок, выделяемый для изучения эродированной почвы, расположенной на склоне, должен был быть вытянутым для обеспечения отбора образцов, приуроченных к одному элементу склона. В центральной части контура закладывали разрез (для характеристики почвенной разновидности), на равном удалении от него две полуямы (для выделения зоны отбора), в пределах выделенной зоны закладывали прикопки в 12 узлах прямоугольной систематической решетки (рис. 1). Из верхней и нижней частей горизонта $A_{\text{старопаш}}$ (после отделения новообразованной дернины) отбирали послойные образцы, что обеспечивало выборку, состоящую из 30 парных

зависимых проб для каждого контура почвы. Высушивание образцов и отделение фракции мелкозема после отбора крупных корней и фрагментов растительных остатков проводили согласно рекомендациям ISO [9].

В образцах определяли содержание гумуса, общего азота [10], легких денсиметрических фракций с удельной плотностью < 1.6 и < 1.8 г/см³ и легкоразлагаемого ОБ [11] после предварительного удаления корней и органических остатков из аналитической пробы [12]. Гранулометрический состав определяли пирофосфатным методом [13].

Вторичную аккумуляцию гумуса оценивали по разности в содержании гумуса между послонными образцами. Подобный подход вряд ли применим при оценке запасов гумуса в залежных почвах, поскольку процесс его вторичного накопления будет охватывать достаточно большую толщу верхней части профиля. Однако он позволяет оценить пространственную вариабельность аккумуляции через статистический анализ парных (сопряженных) выборок, тем более, что на ранних стадиях зарастания накопление гумуса происходит прежде всего в дернине и примыкающем к ней верхнем слое почвы. Это показано, в частности, на примере изучения гумусонакопления при зарастании (в течение 25 лет) техногенных отвалов злаково-разнотравной растительностью [14].

Статистическую обработку данных проводили с применением пакетов MS Excel и STATISTICA 6.0.

2. Результаты и их обсуждение

Результаты определения гумуса приведены в табл. 1 и 2. Вероятностное распределение содержания гумуса в верхних и нижних слоях старопахотного горизонта обеих исследованных почв оценивали по критерию Шапиро – Уилка. Значение статистики данного критерия (W) для содержания гумуса в верхнем слое старопахотного горизонта слабоэродированной светло-серой лесной почвы составляет 0.92 при расчетной статистической значимости (p) 0.24, в нижнем слое – 0.89 при p 0.07. Значение W для содержания гумуса в верхнем слое старопахотного горизонта неэродированной светло-серой лесной почвы составляет 0.92 при p 0.17, в нижнем слое – 0.90 при расчетной статистической значимости 0.1. Для всех значений содержания гумуса нормальность распределения (на 5%-ном уровне значимости) принимается.

Содержание гумуса в верхней части $A_{\text{старопах}}$ эродированной светло-серой лесной почвы составляет в среднем 2.2% при средней изменчивости совокупности (коэффициент вариации (V) составляет 14.1%), в нижней части – 1.4% также при средней изменчивости совокупности ($V = 17.9\%$). В неэродированной почве содержание гумуса в верхней части $A_{\text{старопах}}$ составляет 2.6% при слабой изменчивости совокупности ($V = 5.3\%$), в нижней части – 2.4% также при слабой изменчивости совокупности ($V = 5.0\%$).

Оценку существенности разницы между содержанием гумуса в верхней и нижней частях $A_{\text{старопах}}$ проводили по парному двухвыборочному t -тесту с учетом сопряженности выборок. Разница средних значений содержания гумуса в слоях старопахотных горизонтов обеих почв оказалась существенной.

Табл. 1

Содержание гумуса в верхнем и нижнем слоях старопахотного горизонта светло-серой слабоэродированной почвы

Номер прикопки	Глубина верхнего слоя	Содержание гумуса в верхнем слое ($M \pm m$), %	Глубина нижнего слоя	Содержание гумуса в нижнем слое ($M \pm m$), %	Разность в содержании гумуса между слоями, %
1	4-14.5	2.09 ± 0.06	14.5-25	1.44 ± 0.08	0.65
2	4-11	2.21 ± 0.04	11-18	1.27 ± 0.08	0.94
3	4-14	2.16 ± 0.10	14-24	1.71 ± 0.17	0.45
4	4-11.5	2.03 ± 0.24	11.5-19	1.34 ± 0.26	0.69
5	4-11.5	2.38 ± 0.20	12.5-21	1.84 ± 0.23	0.53
6	3-9.5	2.97 ± 0.11	9.5-16	1.92 ± 0.03	1.05
7	4-14.5	2.77 ± 0.01	14.5-19	1.69 ± 0.04	1.09
8	5-15	2.04 ± 0.02	15-25	1.11 ± 0.03	0.93
9	4-13	2.37 ± 0.02	13-22	1.41 ± 0.08	0.96
10	4-13.5	1.95 ± 0.04	13.5-23	1.31 ± 0.02	0.64
11	4-14	2.14 ± 0.03	14-24	1.55 ± 0.04	0.59
12	4-14.5	2.48 ± 0.05	14.5-25	1.45 ± 0.02	1.04
13	4-13	1.82 ± 0.01	13-18	1.06 ± 0.02	0.76
14	4-15	1.99 ± 0.06	15-22	1.17 ± 0.03	0.82
15	4-15	2.02 ± 0.03	15-26	1.32 ± 0.05	0.70
Среднее		2.23 ± 0.07		1.44 ± 0.08	0.79

Табл. 2

Содержание гумуса в верхнем и нижнем слоях старопахотного горизонта светло-серой незэродированной почвы

Номер прикопки	Глубина верхнего слоя	Содержание гумуса в верхнем слое ($M \pm m$), %	Глубина нижнего слоя	Содержание гумуса в нижнем слое ($M \pm m$), %	Разность в содержании гумуса между слоями, %
1	3-12.5	2.54 ± 0.05	12.5-22	2.30 ± 0.05	0.25
2	3-14.5	2.71 ± 0.03	14.5-26	2.55 ± 0.08	0.16
3	3-15.5	2.55 ± 0.01	15.5-28	2.30 ± 0.01	0.25
4	3-16.5	2.86 ± 0.12	16.5-30	2.60 ± 0.02	0.26
5	3-15	2.71 ± 0.04	15-27	2.44 ± 0.05	0.27
6	3-13	2.65 ± 0.08	13-23	2.57 ± 0.01	0.08
7	2-12.5	2.42 ± 0.09	12.5-23	2.35 ± 0.03	0.07
8	3-14.5	2.56 ± 0.04	14.5-26	2.32 ± 0.02	0.24
9	3-18.5	2.45 ± 0.02	18.5-34	2.32 ± 0.02	0.13
10	2-12	2.41 ± 0.09	12-22	2.24 ± 0.09	0.17
11	4-13	2.56 ± 0.06	13-22	2.49 ± 0.03	0.07
12	4-15	2.43 ± 0.07	15-26	2.42 ± 0.05	0.01
13	4-14	2.61 ± 0.05	14-24	2.56 ± 0.04	0.05
14	4-14	2.40 ± 0.06	14-24	2.29 ± 0.02	0.11
15	4-15.5	2.46 ± 0.07	15.5-27	2.35 ± 0.08	0.11
Среднее		2.55 ± 0.06		2.41 ± 0.04	0.15

Значение парного t -критерия разницы содержания гумуса в верхнем и нижнем слоях старопахотного горизонта слабоэродированной светло-серой лесной почвы составляет $t = 15.3$ при критическом значении $t_{05} = 2.14$. Для неэродированной светло-серой лесной почвы $t = 6.6$ при критическом значении $t_{05} = 2.14$. Для слабоэродированной почвы эта разница составляет в среднем 0.79% при сильном варьировании ($V = 25.7\%$), а для неэродированной почвы – 0.15% также при сильном варьировании ($V = 58.9\%$).

Несмотря на значительное варьирование совокупностей, распределение разницы в содержании гумуса между верхними и нижними частями старопахотных горизонтов обеих почв также уверенно аппроксимируется нормальным законом при 5%-ном заданном уровне значимости. Значение статистики критерия Шапиро – Уилка для разницы в содержании гумуса между верхним и нижним слоями горизонта $A_{\text{старопах}}$ слабоэродированной светло-серой лесной почвы составляет 0.96 при расчетной статистической значимости 0.64. Для неэродированной светло-серой лесной почвы значение W составляет 0.91 при $p = 0.15$.

Выявлено незначительное, но все же статистически значимое по данным парного двухвыборочного t -теста изменение гранулометрического состава старопахотного горизонта. Так, содержание фракции ила в верхней части $A_{\text{старопах}}$ составляет 14.0%, в нижней – 15.3% ($t = 2.68$ при критическом значении $t_{05} = 2.26$). Такое распределение ила не подтверждает предположение о выраженном процессе оподзоливания в нижней части старопахотного горизонта, что могло бы привести к снижению содержания гумуса по крайней мере в начальный период зарастания при господстве лугово-разнотравной растительности. Тогда разницу в содержании гумуса можно отнести к пулу гумуса, новообразованного под дерниной залежной травянистой растительности в верхней части старопахотного горизонта.

Если повышенное содержание гумуса в верхней части горизонта $A_{\text{старопах}}$ отнести к новообразованному ОВ, то обращает на себя внимание сильное пространственное варьирование его содержания. Оно проявляется на фоне среднего (для эродированной почвы) и низкого (для неэродированной почвы) варьирования исходного содержания гумуса в пахотном горизонте (за которое условно можно принять варьирование этой величины в нижних слоях). Для оценки возможной связи накопления вторичного гумуса под влиянием залежи от его исходного содержания в пахотном горизонте, проводили оценку регрессионной зависимости между содержанием гумуса, накопленным в верхнем слое старопахотного горизонта, и его содержанием в нижнем слое (рис. 2). Зависимости характеризуются очень низким и статистически незначимым значением коэффициента корреляции. Анализ зависимостей может интерпретироваться как отсутствие связи между количеством новообразованного гумуса в верхней части старопахотного горизонта и его предполагаемым исходным содержанием в пахотной почве до перевода в залежное состояние.

Для качественной характеристики новообразованного гумуса рассчитывали отношение C/N в послонных образцах старопахотного горизонта слабоэродированной почвы. По содержанию общего азота слои старопахотной почвы также отличаются. Содержание общего азота в верхнем слое составляет в среднем 0.15%, в нижнем – 0.12%. Результаты парного двухвыборочного t -теста для

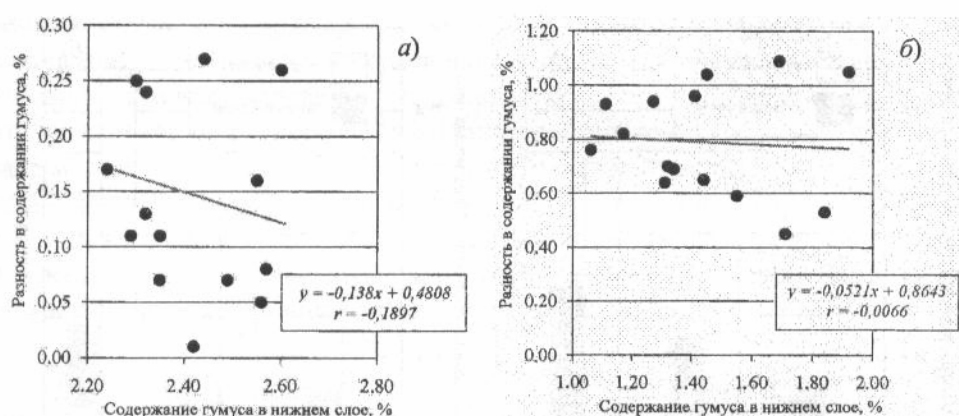


Рис. 2. Зависимость разности в содержании гумуса между слоями от содержания гумуса в нижнем слое старопашотного горизонта светло-серой лесной незродированной почвы (а) и светло-серой лесной слабозродированной почвы (б)

средних также показывают, что по содержанию общего азота между верхним и нижним слоями существует статистически значимая разница (значение t -критерия составляет 2.96 при критическом значении $t_{05} = 2.77$). Отношение C/N в верхней части старопашотного горизонта исследованных залежных светло-серых лесных почв составляет 8.4, в нижней части – 6.3.

Детритные формы ОВ обычно характеризуются меньшей обогащенностью азотом по сравнению с собственно гумусовыми веществами [15]. Показано также, что верхняя часть почвенных профилей может содержать органические остатки, представленные главным образом алифатическими соединениями, которые характеризуются повышенной устойчивостью к окислительной деструкции [16]. Вполне логично заключить, что повышенное отношение C/N в верхней части старопашотного горизонта связано с аккумуляцией под дерниной прежде всего грубого (детритного) гумуса.

Закономерности изменения отношения C/N согласуются с результатами определения содержания легких денсиметрических фракций и легкоразлагаемого ОВ в послыбно отобранных образцах из старопашотного горизонта изучаемых почв. Отделение легких фракций проводили в концентрированных растворах иодида натрия с удельной плотностью 1.8 и 1.6 г/см³. Результаты свидетельствуют о значительном (в 2–3 раза) увеличении содержания легких денсиметрических фракций гумуса в верхнем слое старопашотного горизонта залежных почв по сравнению с нижним слоем (рис. 3).

Отсутствие связи между количеством новообразованного гумуса в верхней части старопашотного горизонта и его предполагаемым исходным содержанием, а также детритный характер вторичного гумуса могут объясняться пространственной неоднородностью растительного покрова на залежи. Случайное (отвечающее распределению Пуассона) горизонтальное расположение особей одного вида в естественных растительных сообществах является крайне редким случаем, в отличие от наиболее общего случая контактного (группового) распределения [17]. При моделировании гумусообразования обычно исходят из предположения, что система «гумус почвы – растительный покров» регулируется положительной

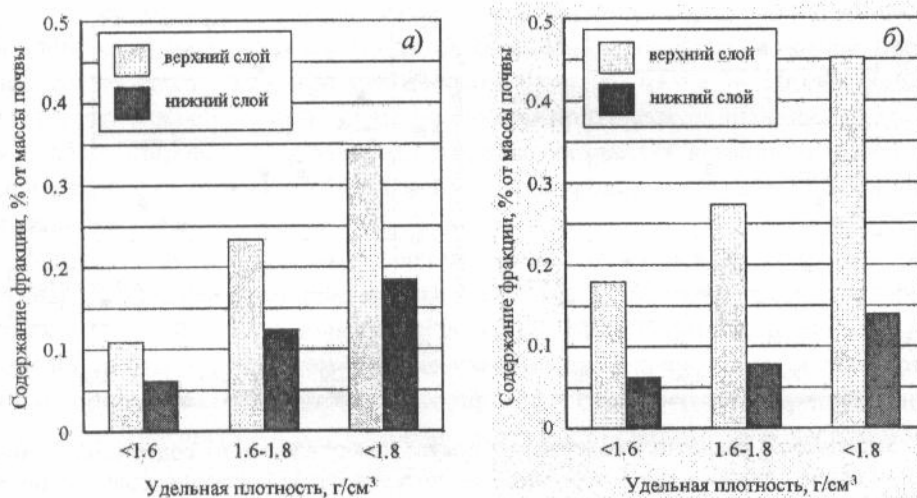


Рис. 3. Содержание легких денсиметрических фракций гумуса в верхнем и нижнем слоях старопашотного горизонта светло-серой слабоэродированной почвы, % от массы: а – средние пробы; б – образцы из прикопки № 15

обратной связью. На начальных стадиях формирования экосистем появившаяся растительность стимулирует накопление ОВ в почве, а это, в свою очередь, повышает ее плодородие и, следовательно, стимулирует рост продуктивности растительности, что приводит к дополнительному накоплению ОВ [18]. Однако неоднородность почвенного покрова, которая также может быть причиной контагиозности, не является определяющим фактором формирования неоднородности растительного покрова, поскольку проявляется всегда при воздействии других причин, таких как характер распространения диаспор от материнского растения, взаимоотношения видов, непочвенных условий среды (освещенность, микро-рельеф, водный режим и др.). Развитие залежной растительности, сопровождающееся сукцессиями растительных сообществ, должно обеспечивать очень высокую степень их контагиозности. В свою очередь, контагиозность будет определять поступление растительного материала в почву, особенно в начальные стадии формирования залежной растительности. К примеру, коэффициент вариации содержания зеленой фитомассы на контрольных площадках, заложенных в сухой степи Тувы, изменялся от 32% до 100%, живых подземных органов – от 22% до 37%, мертвых подземных органов – от 35% до 46%, подстилки в среднем 34% [19]. Таким образом, пространственная неоднородность растительности может быть определяющим фактором пространственной неоднородности вторичной аккумуляции гумуса на постагрогенных землях.

Заключение

На примере залежных светло-серых лесных почв экспериментально показано, что дифференциация гумуса в старопашотном горизонте характеризуется сильной вариабельностью, значительно превышающей исходную горизонтальную вариабельность содержания гумуса в пахотной почве. Эта вариабельность носит случайный характер и не связана с исходным содержанием гумуса. Накоп-

ленный в верхней части старопашотного горизонта гумус характеризуется повышенным отношением C/N и повышенным содержанием легкоразлагаемого ОВ, что может свидетельствовать о его детритном характере. Можно предположить, что накопление вторичного гумуса в залежных светло-серых лесных почвах связано в первую очередь с микропестротой залежной растительности в начальный период зарастания пашни и сукцессий растительного покрова. Для реалистичной характеристики вторичной аккумуляции гумуса в старопашотных горизонтах залежных почв необходим учет горизонтальной неоднородности и статистический анализ получаемых результатов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 11-04-00522).

Summary

K.G. Giniyatullin, A.A. Shinkarev, A.G. Fazylova, K.I. Kuzmina, A.A. Shinkarev, Jr.
Spatial Heterogeneity of Secondary Humus-Accumulation in Old-Arable Horizons of Fallow Light-Grey Forest Soils.

The article deals with the spatial heterogeneity of secondary humus-accumulation in old-arable fallow light-grey forest soils with various initial variation of humus content in an arable horizon before their conversion into long-fallow lands. It is shown that humus distribution in an old-arable horizon of fallow soils is characterized by a strong variability, considerably exceeding the initial variability in arable soils. This variability is of random nature and is not connected with the initial humus content in arable soils. Humus accumulation in fallow soils occurs, first of all, at the expense of formation of coarse (detrital) organic matter, and the pattern of its spatial distribution depends on the vegetation microdiversity during the initial stage of overgrowing of abandoned croplands and successions of vegetation cover.

Key words: fallow light-grey forest soils, organic matter accumulation, spatial heterogeneity.

Литература

1. Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Швиденко А.З., Сапожников П.М. Изменение общего пула органического углерода в залежных почвах России в 1990–2004 гг. // Почвоведение. – 2010. – № 3. – С. 361–368.
2. Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А., Денисенко Е.А., Нефедова Т.Т. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. – М.: ГЕОС, 2010. – 416 с.
3. Фрид А.С. Пространственное варьирование и временная динамика плодородия почв в длительных полевых опытах. – М.: Россельхозакадемия, 2002. – 80 с.
4. Самсонова В.П. Пространственная изменчивость почвенных свойств: На примере дерново-подзолистых почв. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 160 с.
5. Геоestatистика и география почв / Отв. ред. П.В. Красильников. – М.: Наука, 2007. – 175 с.
6. Владыченский А.С., Телеснина В.М., Иванько М.В. Изменение некоторых свойств таежных почв при прекращении их сельскохозяйственного использования (на примере Костромской области) // Докл. по экол. почвоведению. – 2006. – Вып. 3, № 3. – С. 130–150.

7. Квасова А.М., Курганова И.Н., Лопес де Гераню В.О., Давыдова А.Ю., Гультява Е.М. Влияние землепользования на гумусное состояние и дыхательную активность серых лесных почв // Труды 4-й Всерос. науч. конф. «Гуминовые вещества в биосфере». – СПб.: Изд. дом С.-Петерб. гос. ун-та, 2007. – С. 260–262.
8. Soil sampling for environmental contaminants. – Vienna: IAEA, 2004. – 75 p.
9. ISO 11464. 1994. Soil Quality – Pretreatment of samples for physico-chemical analysis. – 11 p.
10. Растворова О.Г., Андреев Д.П. Валовой анализ органической части почв // Теория и практика химического анализа почв. – М.: ГЕОС, 2006. – С. 115–140.
11. Ганжара Н.Ф., Борисов Б.А., Байбеков Р.Ф. Практикум по почвоведению. – М.: Агроконсалт, 2002. – 280 с.
12. Растворова О.Г., Андреев Д.П. Подготовка почвенных проб к анализу и способы выражения результатов анализов // Теория и практика химического анализа почв. – М.: ГЕОС, 2006. – С. 103–111.
13. Шейн Е.В., Карпачевский Л.О., Березин П.Н. Гранулометрический состав почв // Теории и методы физики почв. – М.: Гриф и К, 2007. – С. 54–90.
14. Титлянова А.А., Афанасьев Н.А., Наумова Н.Б. и др. Сукцессии и биологический круговорот. – Новосибирск: Наука, 1993. – 154 с.
15. Six J., Conant R.T., Paul E.A., Paustian K. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. Review // Plant Soil. – 2002. – V. 241, No 2. – P. 155–176.
16. Eusterhues K., Rumpel C., Kögel-Knabner I. Stabilization of soil organic matter isolated via oxidative degradation // Org. Geochem. – 2005. – V. 36, No 11. – P. 1567–1575.
17. Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы. – М.: Прогресс, 1980. – 238 с.
18. Росновский И.Н. Системный анализ и математическое моделирование процессов в почвах. – Томск: Том. гос. ун-т, 2007. – 312 с.
19. Титлянова А.А., Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Романова И.П. Подземные органы растений в травяных экосистемах. – Новосибирск: Наука, 1996. – 125 с.

Поступила в редакцию
20.08.12

Гиниятуллин Камиль Гашикович – кандидат биологических наук, доцент кафедры почвоведения Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: Ginijatullin@mail.ru

Шинкарев Александр Александрович – доктор биологических наук, профессор кафедры почвоведения Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: Ashinkar@mail.ru

Фазылова Аниса Гилмуловна – студент кафедры почвоведения Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: Anisa.fazylova@yandex.ru

Кузьмина Ксения Игоревна – студент кафедры почвоведения Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: Ksusha177@bk.ru

Шинкарев Алексей Александрович – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Центрального научно-исследовательского института геологии нерудных полезных ископаемых, г. Казань.

E-mail: Alex.shinkarev@gmail.com