

ЗАПАСЫ И ПРОФИЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БИОФИЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЕСТЕСТВЕННЫХ И АНТРОПОГЕННО ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ПОЧВАХ ЗАОНЕЖЬЯ

В. А. Сидорова, М. Г. Юркевич

*Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН»
185910, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11
E-mail: val.sidorova@gmail.com*

Поступила в редакцию 02 октября 2017 г., принята к печати 26 ноября 2018 г

Изучена динамика запасов биофильных элементов в естественных и антропогенно трансформированных почвах Заонежья. Почвенный покров Заонежья уникален тем, что почвы, на большей части территории, образуются на элюво-делювии шунгитовых сланцев. Количественная оценка запасов биофильных элементов проводилась на разных типах почв, характерных для региона. Установлено, что при переводе сельскохозяйственных земель в залежь запасы биофильных элементов снижаются, однако их максимальное содержание по-прежнему отмечается в старопашотном горизонте. Максимальными запасами биофильных элементов характеризуются почвы на шунгитовых сланцах. Исследовано профильное распределение содержания органического углерода, общего азота и валового фосфора в разных типах почв с различной степенью окультуренности. Выявлено, что основные особенности распределения биофильных элементов в профилях глееземов легкосуглинистых и серогумусовых темнопрофильных легкосуглинистых почв связаны с морфологическими различиями профилей в трёх системах землепользования. При переходе пашни в залежь, зарастающую лесом, бывший пахотный горизонт глееземов стратифицируется на два подгоризонта, а в естественных биоценозах постепенно убывающее распределение биофильных элементов становится резко убывающим. При выводе из сельскохозяйственного оборота пахотные почвы на шунгитовых сланцах достаточно быстро возвращаются к исходному состоянию, поскольку пахотные горизонты шунгитовых почв как по морфологическому строению, так и по физическим и химическим свойствам незначительно отличаются от верхних горизонтов почв, сформировавшихся под естественной лесной растительностью на материалах, богатых шунгитовыми сланцами.

Ключевые слова: биофильные элементы, углерод, азот, шунгитовые почвы, залежь.

STOCKS AND PROFILE DISTRIBUTION OF BIOPHILIC ELEMENTS IN NATURAL AND ANTHROPOGENICALLY TRANSFORMED SOILS OF ZAONEZHIE

V. A. Sidorova, M. G. Yurkevich

*Institute of Biology of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences
11, Pushkinskaya St., Petrozavodsk, 185910
E-mail: val.sidorova@gmail.com*

The dynamics of biophilic elements' stocks in natural and anthropogenically transformed soils of Zaonezhie has been studied. The soil cover of Zaonezhie is unique in that the soils in the most of the territory are formed on the eluva-deluvium of shungite schists. Quantitative assessment of biophilic elements stocks has been carried out on different types of soils typical for the region. It was found that when transferring agricultural lands to fallow lands, the stocks of biophilic elements were reduced, but their maximum content is still noted in the old arable horizon. The soils on shungite schists are characterized by maximum reserves of biophilic elements. The profile distribution of the content of organic carbon, total nitrogen and total phosphorus has been studied in various types of soils with different degrees of cultivation. It was revealed that the main features of the distribution of biophilic elements in the profiles of light-loamy and gray-humus dark-profile light-loamy soils in the three land use systems were associated with the morphological differences of the profiles. At the transition of arable soils to fallow, overgrown with forest, ex-arable horizon were stratified into two sub-horizons, and in the natural biocenoses the gradually decreasing distribution of biophilic elements becomes sharply decreasing. At the conclusion of the agricultural turnover, arable soils on shungite schists quickly return to their original state, because arable horizons of shungite soils, both in their morphological structure and physical and chemical properties, slightly differ from the upper horizons of soils formed under natural forest vegetation on materials rich in shungite schists.

Keywords: biophilic elements, carbon, nitrogen, phosphorus, shungite soil, land use systems, long-term arable lands.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы резко увеличилась степень трансформации природных ландшафтов в результате антропогенного воздействия. Природные экосистемы замещаются сельскохозяйственными угодьями, поселениями и просто нарушенными землями. Антропогенное воздействие изменяет биогеохимический цикл важнейших биогенных элементов, таких как углерод, азот и фосфор.

Исследования по органической геохимии углерода и других биофильных элементов являются одним из приоритетных направлений в почвоведении (Перельман, Касимов, 1999; Batjes, 1996; Poulton et al., 2003; Глазовская, 2009; Курганова и др., 2010). В ранних исследованиях влияния земледелия на почвы подчёркивался положительный эффект от вспашки, известкования и внесения удобрений, заключающийся в образовании пахотного горизонта, обогащённого углеродом и другими биофильными элементами (Тюрин, 1965). В последние годы внимание исследователей акцентируется на потере органического углерода почвами и его эмиссии в атмосферу, то есть на негативном влиянии земледелия на почву (Титлянова, Наумов, 1995; Davidson, Ackerman, 1993; Post, Mann, 1990; Post, Kwon, 2000). Также в последнее время весьма актуальным стал вопрос о необходимости получения объективных данных о влиянии антропогенной деятельности на баланс углерода и других биофильных элементов в почвах. Вследствие экономических преобразований в аграрном секторе страны наблюдается прекращение возделывания земель и перевод значительных площадей пахотных угодий в кормовые (Люри и др., 2010). Изучению постагрогенных экосистем посвящены многочисленные исследования (Курганова и др., 2007; Литвинович, 2009; Владыченский и др., 2013; Рыжова и др., 2014; Мазиров и др., 2017). Изменения свойств почв и, прежде всего, их гумусного состояния в залежный период происходят неоднозначно и зависят от климатических условий, типа почвы, времени пребывания почвы в режиме залежи и ее изначального гумусного состояния.

Целью настоящей работы являлось изучение профильного распределения углерода и биофильных элементов (N, P) и влияния смены землепользования на их запасы в естественных и антропогенно трансформированных почвах.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследований являлись специфические ландшафты Заонежья в Карелии (62°30' с. ш., 35°16' в. д.). В районе исследования и на смежных территориях распространены почвы, развивающиеся на шунгитовых почвообразующих породах.

В районе Заонежья почвообразующими породами являются как коренные породы, так и рыхлые четвертичные наносы (Демидов, 1993). К первой группе почвообразующих пород относятся шунгиты, распространенные в основном на юго-востоке Заонежского полуострова и являющиеся основными почвообразующими породами в районе

исследования. Они представляют собой смесь шунгитов с мореной, которая образовалась в результате деятельности ледника. Шунгиты легко подвергаются выветриванию и разрушению, хорошо прогреваются солнцем и удерживают тепло (Галдобина, 1993). Богатство элементного состава и благоприятные тепловые свойства шунгитов оказывают положительное влияние на плодородие почв. К отрицательным свойствам данных минералов можно отнести низкую водоудерживающую способность.

Почвенный покров Заонежья имеет как черты, сходные с остальной территорией Карелии, так и уникальные особенности. На полуострове полностью отсутствуют подзолистые почвы, поскольку рыхлые отложения не имеют полимиктовый состав. На большей части территории почвы образуются на элюво-делювии шунгитовых сланцев, что способствует развитию на них буроземов темноцветных, обогащенных железом и элементами минерального питания и отличающихся пониженной кислотностью. По мере удаления от шунгитовых месторождений содержание в морене и водно-ледниковых отложениях шунгитового материала уменьшается. Почвообразующая порода включает в себя как шунгиты, так и породы силикатного состава (Морозова и др., 2004). Как правило, почвы на шунгитовых сланцах относятся или к группе буроземов (Морозова и др., 2004), или к серогумусовым темнопрофильным почвам (Шишов и др., 2004), или к дерново-литогенным почвам (Иванова, 1976).

На территории Заонежья выделяются следующие основные типы почв: примитивные, подбуры, буроземы, буроземы глеевые, дерново-глеевые, дерново-литогенные, болотные низинные, болотные переходные, болотные освоенные (Морозова и др., 2004).

Агроклиматические характеристики региона являются следующими: сумма температур выше 10°C около 1500; средняя температура января -10,9°C; средняя температура июля 16,8°C; продолжительность безморозного периода - 120-30 дней, за указанный период выпадает 200-250 мм осадков, за год - 550-600 мм; снежный покров устанавливается во второй-третьей декаде ноября и лежит на полях до третьей декады апреля; период залегания снежного покрова - 150-165 дней, высота - 40-50 см (Агроклиматические ресурсы..., 1974).

Основным критерием выбора участка являлось разнообразие ландшафтов, почв и подстилающих пород.

Исследования антропогенно трансформированных почв проводились на землях (как используемых, так и выведенных из севооборота) одного из крупнейших действующих хозяйств Республики Карелия ОАО «Совхоз Толвуйский» (пос. Толвуй, Медвежьегорский район).

Исследования проводились при помощи традиционных методов почвенной съемки (заложение разрезов и полуям). В районе исследования было заложено порядка 50-ти разрезов на почвах с различными отложениями под разными типами

растительных сообществ и с различными системами землепользования.

Местоположения почвенных разрезов выбирались таким образом, чтобы охватить исследованиями основные почвенные разности, а также почвы с различной степенью осушения и окультуренности, длительностью сельскохозяйственного использования и т.д.

В районе исследования преобладают почвы, развивающиеся на шунгитовых почвообразующих породах. Также в нижних частях склонов и пониженных равнинах между сельгами распространены буроземы глеевые. Нижний горизонт данных почв сильно оглеен или имеет следы оглеения, встречаются сизые ржавые пятна, прожилки и примазки. Это может быть обусловлено как низким положением в рельефе, так и двучленностью почвообразующей породы. В основном разрезы закладывались группами по 3–4 штуки таким образом, чтобы каждый тип почв был представлен разрезами, заложенными на участках с различными типами землепользования.

В каждой точке фиксировались координаты по GPS и проводилось описание окружающей территории, типа землепользования, растительности, элементов рельефа и морфологических признаков почвы (Руководство по описанию почв, 2012). Из каждого разреза в каждом почвенном горизонте в трехкратной повторности отбирались образцы для

последующего анализа физико-химических свойств, а также образцы для определения плотности сложения почв. Плотность сложения почв определялась в образцах с ненарушенным сложением. Отбор образцов для определения плотности сложения проводился с помощью цилиндров объемом 100 см³. Образцы, доставленные в лабораторию для анализа физико-химических свойств, были доведены до воздушно-сухого состояния, растерты и просеяны через сито с отверстиями 1 мм. В полученных почвенных образцах определялись рН_{KCl} (потенциометрически), а также содержание общего азота (по Кьельдалю) и валового фосфора (Аринюшкина, 1952; Воробьева, 2006; Роуэлл, 1998). Определение содержания органического углерода проводилось при помощи C:N-анализатора. Запасы биотфильных элементов определялись отдельно для каждого горизонта, затем путем простого суммирования определялись запасы по всему профилю почвы.

Расчеты и статистический анализ полученных данных проводились по стандартным методикам (Дмитриев, 1995) с использованием прикладных программ «Microsoft Excel» и Statistica 6.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты изучения запасов биотфильных элементов в профилях почв при различных типах землепользования представлены в таблице.

Таблица. Запасы биотфильных элементов в почвенных профилях при разных типах землепользования

	Тип землепользования	Размах	Среднее значение	Коэффициент вариации, %
C, т·га ⁻¹	сенокос	165,66–552,65	284,86	49,30
	пастбище	131,91–333,11	229,40	43,92
	залежь	43,32–418,92	173,40	60,39
	лес	65,57–226,20	143,64	40,69
N, т·га ⁻¹	сенокос	20,41–37,39	29,20	27,90
	пастбище	5,46–22,16	13,12	54,25
	залежь	12,20–32,78	20,76	30,18
	лес	7,98–26,42	16,52	40,53
P, т·га ⁻¹	сенокос	11,08–19,90	14,57	23,76
	пастбище	14,54–17,15	15,86	8,22
	залежь	6,76–21,74	11,99	34,89
	лес	9,13–16,44	12,21	30,21

Анализ результатов выявил наличие статистически достоверных различий ($p < 0,05$) между запасами органического углерода и общего азота в почвах при разных типах землепользования. Установлено, что наибольший объем запасов органического углерода и общего азота содержится в почвах на участках, которые в настоящее время активно используются в сельском хозяйстве, – сенокосах (ежа, тимофеевка, клевер) и посевах вико-овсяной смеси. Это может быть связано с внесением большого количества органических и минеральных удобрений, а также поступлением в почву при возделывании сельскохозяйственных культур значительного количества растительных остатков. Запасы органического углерода на указанных участках составляют в среднем 285 т·га⁻¹, азота –

29 т·га⁻¹. Максимальные запасы органического углерода отмечены в пахотном горизонте.

Навоз и помет сельскохозяйственных животных, остающийся на местах их выгула и выпаса, рассматривались в качестве альтернативного источника поступления органического углерода в почвы пастбищ. Однако вклад углерода из навоза и помета, оставленных на территории пастбищ, является менее существенным (Романовская, Карабань, 2008). Согласно результатам настоящего исследования, запасы органического углерода в почвах пастбищ ниже, чем на сенокосных угодьях, но выше, чем на залежных землях.

В почвах, выведенных из севооборота, запасы органического углерода снижаются до 173 т·га⁻¹, азота – до 21 т·га⁻¹. Максимальные запасы отмечены в старопашотном горизонте. В большинстве почв

границы старопашотного горизонта легко определяются в их генетических профилях. Запасы органического углерода в почвах под залежью отличаются большим диапазоном значений и высокими коэффициентами вариации. Это может быть вызвано тем, что при анализе результатов не учитывался возраст залежи (степень заброшенности участка). Полученные результаты согласуются с данными других исследователей. Так, по данным исследования А. С. Владыченского с соавт. (Владыченский и др., 2013) по изучению динамики показателей гумусного состояния агродерноподзолистых почв в ходе естественного восстановления леса на примере хронорядов, отличающихся историей освоения, в ходе зарастания сенокоса наблюдается некоторое уменьшение содержания гумуса на ранних стадиях сукцессии. Исследования А. В. Литвинович и О. И. Павловой (Литвинович, Павлова, 2007) показали, что при зарастании лесом хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв их гумусовое состояние ухудшается. На основании сравнительного анализа динамики запасов углерода в ходе постагрогенной сукцессии в различных регионах Европейской территории России (от средней тайги до широколиственных лесов) Д. И. Люри с соавт. (Люри и др., 2010) пришли к выводу, что при зарастании пашни лесом на разном количественном уровне прослеживается одна и та же закономерность: на первых стадиях сукцессии отмечается уменьшение запасов углерода в почве с последующим увеличением на следующих стадиях.

Также запасы органического углерода в значительной степени зависят от типа почвы. В работе А. А. Романовской (2008) высказано предположение, что относительно высокое содержание углерода в современных пахотных почвах по сравнению с залежными может быть связано с тем, что в первую очередь забрасывались менее плодородные земли, которые изначально характеризовались низким содержанием углерода. В ходе настоящего исследования минимальные запасы органического углерода выявлены в агрозёмах глееватых, отличающихся низким плодородием. Однако следует отметить, что максимальные запасы органического углерода наблюдаются в дерново-литогенных шунгитовых слабо- и среднекаменистых почвах. Несмотря на то, что данные почвы характеризуются повышенным содержанием органического углерода, они практически не пригодны для использования в сельском хозяйстве из-за каменистости.

В лесных почвах запасы биофильных элементов значительно ниже – около 144 т га^{-1} углерода и $16,5 \text{ т га}^{-1}$ азота. Разница по запасам азота не столь существенна, как по запасам углерода. Если запасы общего углерода в почвах сельхозугодий в среднем в два раза больше, чем в почвах под лесом, то запасы общего азота – в 1,7 раза.

Согласно данным других исследователей (Федорец, Бахмет, 2003; Машика, 2005), расчетные данные по запасам углерода в верхнем метровом слое почв среднетаёжных ельников зависят от типа почв и

варьируются в широком диапазоне (от 54 до 151 т га^{-1}). Под хвойно-лиственными насаждениями средние запасы составляют 130 т га^{-1} . Кроме того, одной из причин вариабельности запасов углерода и элементов минерального питания в пределах одного подтипа или рода почв является неоднородность растительного покрова. На почвах одной генетической группы (на уровне рода или вида) могут произрастать леса разных типов. Произрастание лесных насаждений разных типов на одной разновидности почв обусловлено различными стадиями развития коренных типов леса на данных территориях, а также нарушениями почвенного покрова в результате стихийных бедствий или антропогенной деятельности.

В изменении запасов азота отмечена следующая закономерность: они увеличиваются по мере повышения увлажнения (от поверхностно-подзолистых почв до торфянистых иллювиально-гумусовых подзолов и торфяно-болотных почв). Оптимальными считаются запасы азота в подзолах иллювиально-гумусово-железистых и в подзолистых автоморфных почвах. Более низкое содержание азота отмечено в подзолистых оглеенных почвах. Как и в случае с углеродом, запасы азота зависят от типа растительности (Федорец, Бахмет, 2003).

Анализ результатов не выявил статистически достоверных различий ($p > 0,05$) между запасами валового фосфора в почвах при разных типах землепользования. Тем не менее, в ходе настоящего исследования наибольший средний объем запасов валового фосфора отмечен в почвах под пастбищами, что предположительно связано с долговременным поступлением в них экскрементов животных. Кроме того, почвы под пастбищами характеризовались самыми низкими коэффициентами вариации запасов валового фосфора, что, возможно, обусловлено однородностью типов почв. Преимущественно это дерново-шунгитовые средне- и сильнокаменистые почвы, которые отличаются достаточным плодородием и биологическим разнообразием растительных видов, однако из-за сильной каменистости они не пригодны для вспашки и другой сельскохозяйственной обработки. Запасы валового фосфора в почвах сенокосных угодий ниже. Средние запасы валового фосфора в лесных почвах и почвах под залежью практически равны, это может быть связано с тем, что фосфор поступает в почву главным образом в результате внесения удобрений, а на лесных и залежных почвах такой источник поступления отсутствует.

Любые изменения в системе использования почв неизбежно приводят к изменениям запасов органического углерода. В зависимости от типа использования земель и методов ведения хозяйства это может вызывать эмиссию углекислого газа (CO_2) в атмосферу, его поглощение почвами, а также безвозвратный вынос с поверхностной эрозией в водоемы. Показатели запасов, в отличие от показателей содержания, дают более точное представление об истинных масштабах процессов. Целинные и пахотные почвы можно сравнивать только по показателям запасов (Курганова и др., 2007,

2010; Романовская, Карабань, 2008). Однако при этом следует установить, за счет чего происходит изменение запасов биофильных элементов и их перераспределение в почвенном профиле.

Для исследования динамики запасов биофильных элементов под длительной залежью было заложено несколько серий разрезов группами по 3–4 штуки для одного агроландшафта с целью выявления временных изменений при забрасывании сельскохозяйственных земель. В итоге был выявлен следующий ряд: сельхозугодья, залежи разного возраста, естественный лес. Степень заброшенности определялась по степени доминирования злаковых в травянистом покрове, а также по наличию и возрасту древесных растений.

Ниже приведены результаты исследований по двум сериям разрезов, различающимся в зависимости от типа почв, на которых они заложены.

Первая серия заложена на глееземах легкосуглинистых с мощным профилем на озерных суглинках. Из картографических материалов известно, что в 1969 г. и в 1992 г. характер землепользования исследуемой территории был одним и тем же – она использовалась под пашню.

Разрез 198 был заложен на поле с посевами вико-овсяной смеси. В травяном ярусе представлены также овес, ромашка лекарственная, одуванчик, подорожник и чина.

На участке, где был заложен разрез 111 (залежь), древесный ярус представлен молодым подростом ольхи, в травяном ярусе доминируют таволга, василек, мышиный горошек и иван-чай.

На участке под лесом (разрез 199) растительный покров представлен древесными мелколиственными породами – ольхой, черемухой и подростом рябины. В травяном ярусе преобладают папоротник, хвощ и мхи.

Мощность пахотного горизонта составила 22 см, тогда как в разрезе под залежью мощность старопашотного горизонта достигала 27 см. Почвы характеризуются среднекислой реакцией среды (pH_{KCl} 4,7–5), плотность пахотного горизонта – 0,95–1,01 г см⁻³. Почвы под лесом отличаются сильнокислой реакцией среды.

Изменение запасов происходит главным образом за счет перераспределения органического углерода по почвенному профилю. На рис. 1а представлено распределение содержания органического углерода по профилям трех разрезов.

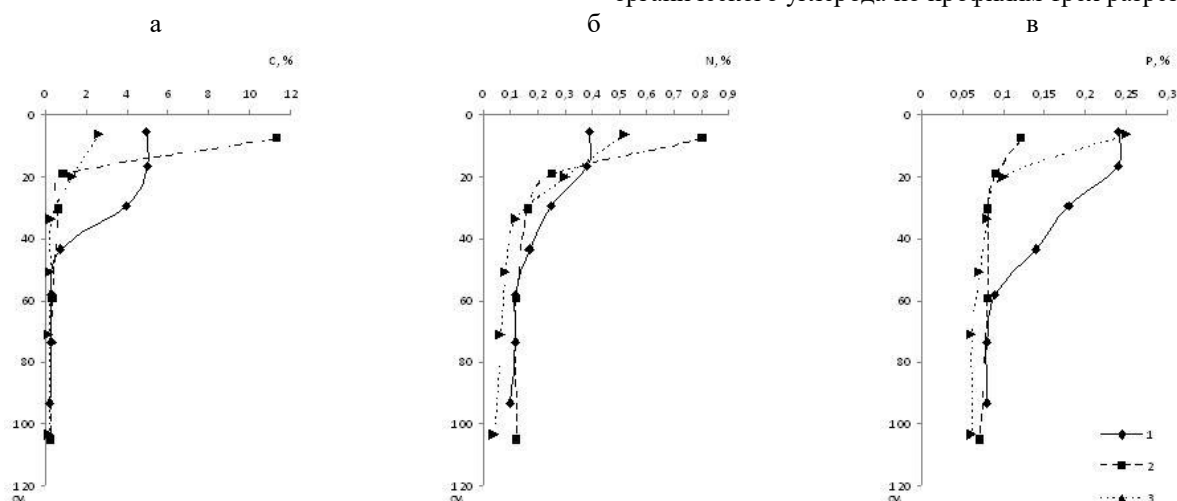


Рис. 1. Кривые распределения содержания органического углерода (а), общего азота (б) и валового фосфора (в) по почвенному профилю глееземов легкосуглинистых с мощным профилем на озерных суглинках на участках с разным типом землепользования: 1 – посевы однолетних трав; 2 – лес; 3 – залежь

Из рисунка видно, что в почве под посевами при длительном воздействии приемов окультуривания изменяется содержание биофильных элементов не только в пахотном, но и нижележащих горизонтах. В работе (Мазиров и др., 2017) подчеркивается, что под действием интенсивного окультуривания происходит более существенное изменение агрохимических свойств подпахотного слоя по сравнению с пахотным. При этом в естественных биоценозах и вариантах без удобрений распределение гумуса, фосфора и калия носит резко выраженный по глубине гетерогенный характер, а при высокой степени окультуривания (NPK + навоз) — близкий к гомогенному, особенно в слое 0–40 см.

Из рисунка видно, что по мере естественного зарастания пашни лесом содержание органического углерода в верхнем 10-сантиметровом слое в почве сначала немного уменьшается, а затем резко

увеличивается. Это может быть связано с поступлением листового опада древесного яруса. Постепенно убывающее распределение органического углерода по почвенному профилю становится резко убывающим.

Аналогичные результаты получены в других исследованиях (Владыченский и др., 2009; Чалая, 2012): в процессе зарастания пашни и сенокоса лесом происходит дифференциация бывшей пахотной толщи на два подгоризонта по содержанию углерода. По мере зарастания нижний слой старопашотного горизонта начинает приобретать свойства, близкие к свойствам подзолистого горизонта. Начиная с 40-летнего возраста, залежи статистически подтверждается дифференциация старопашотной толщи на два горизонта по величинам плотности.

Кривые распределения содержания общего азота по почвенному профилю на участках с разным

типом землепользования (рис. 1б) в целом сходны с аналогичными кривыми распределения содержания общего углерода. Следует только отметить увеличение содержания общего азота уже в самом верхнем (0–10 см) горизонте залежных земель.

Кривые распределения содержания валового фосфора по почвенному профилю на участках с разным типом землепользования представлены на рис. 1в. Здесь особый интерес представляет распределение на действующем сельхозугодье: в пахотном горизонте наблюдается высокое содержание валового фосфора, а на глубине 20–60 см происходит постепенное снижение его запасов. Следует отметить, что резкого увеличения содержания валового фосфора в верхнем (0–10 см) горизонте лесной почвы не происходит, что связано с отсутствием источника поступления фосфора на данном участке.

Вторая серия заложена на серогумусовых темнопрофильных легкосуглинистых почвах со среднеразвитым профилем на элювии шунгитовых сланцев. Серия включала три разреза, заложенных на сенокосном угодье (разрез 15), а также под залежью (разрез 16) и лесом (разрез 17).

Разрез 15 заложен на действующем сенокосном угодье. Преобладающая растительность – ежа, клевер, одуванчик, тимopheевка и мышиный горошек.

На участке, где был заложен разрез 16, в травяном ярусе доминируют тысячелистник, василек, львиный зев, мышиный горошек, ежа, мятлик, подмаренник мягкий, зверобой и одуванчик. Встречается подрост рябины. Об использовании указанной территории в сельском хозяйстве свидетельствуют выровненный характер рельефа, вытанутость ровниц по краям полей с достаточно широким пространством между ними и их геометрически правильное расположение, что удобно при обработке сельскохозяйственной техникой. В верхнем горизонте отмечены включения угольков.

На участке под лесом (разрез 17) древесный ярус представлен ольхой черной и рябиной. В травяном ярусе преобладают папоротник, майник, таволга и кислица.

Характерными свойствами почв на шунгитовых сланцах являются слабокислая и нейтральная реакция. Профиль почвы однородный, черный по цвету, горизонты идентифицируются с трудом (Шекк, 1991). Граница пахотного горизонта почв на шунгитовых сланцах не всегда выделяется отчетливо. Мощность пахотного горизонта в разрезе 15 составила 25–30 см.

Шунгитовые почвы отличаются сильной каменистостью. В почве под сенокосным угодьем каменистость верхнего пахотного горизонта составила 20%, преобладали камни небольшого (1–2 см) размера. В почвах под залежью доля мелких камней возросла до 30%, также отмечены более крупные (до 5 см) камни (10%). В почвах под лесом доля мелких камней в верхних горизонтах составила 50%. Кроме того, начиная с глубины 10 см встречаются большие окатанные камни диаметром более 30 см. Из-за увеличения каменистости с глубиной профили почв на шунгитовых сланцах, как

правило, характеризуются небольшой общей мощностью.

Кривые распределения содержания органического углерода по профилю почв на шунгитовых сланцах представлены на рис. 2а. Почвы данного типа характеризуются значительным содержанием органического углерода и его плавным постепенным уменьшением с глубиной. На глубине 40–60 см содержится около 2% углерода. Для сравнения, в почвах на глееземах содержание органического углерода на указанной глубине не превышает 0,7%.

Кривые распределения содержания общего азота по почвенному профилю на участках с разным типом землепользования (рис. 2б) несущественно отличаются друг от друга. Следует только отметить, что в землях сельхозугодий сохраняется более высокое содержание общего азота на большой глубине.

Кривые распределения содержания валового фосфора по почвенному профилю на участках с разным типом землепользования представлены на рис. 2в. Все они свидетельствуют о постепенном уменьшении содержания валового фосфора как с глубиной, так и со снижением сельскохозяйственной нагрузки.

Таким образом, основные особенности распределения биофильных элементов в профилях глееземов легкосуглинистых и серогумусовых темнопрофильных легкосуглинистых почв в трёх системах землепользования связаны с морфологическими различиями профилей. При длительном применении приемов окультуривания на глееземах изменяется плодородие не только пахотного, но и нижележащих горизонтов. Под действием интенсивного окультуривания происходит более существенное изменение агрохимических свойств подпахотного слоя по сравнению с пахотным. При переходе почв под залежь, зарастающую лесом, бывший пахотный горизонт стратифицируется на два подгоризонта, а в естественных биоценозах постепенно убывающее распределение биофильных элементов становится резко убывающим.

Характерной особенностью почв на шунгитовых сланцах является то, что профиль почвы изначально является достаточно однородным как по строению, так и по свойствам, горизонты идентифицируются с трудом. Почвы на шунгитовых сланцах отличаются от остальных почв Карелии высоким природным плодородием. Также для них характерно высокое содержание углерода, количество которого в верхних горизонтах может достигать 10%, постепенно уменьшаясь вниз по профилю. При изменении типа землепользования распределение биофильных элементов изменяется незначительно.

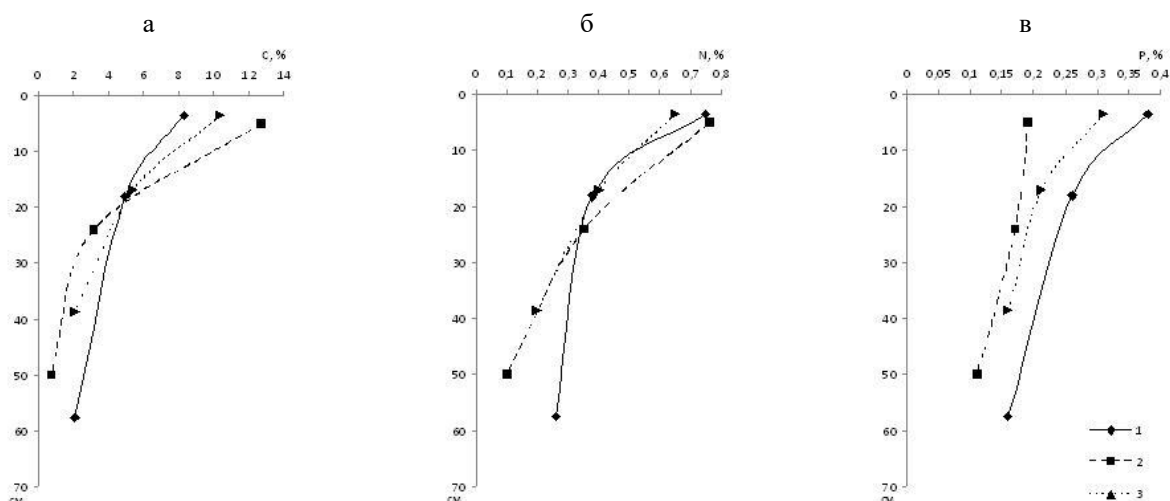


Рис. 2. Кривые распределения содержания органического углерода (а), общего азота (б) и валового фосфора (в) по почвенному профилю серогумусовых темнопрофильных легкосуглинистых со среднеразвитым профилем почв на элювии шунгитовых сланцев на участках с разным типом землепользования: 1 – посевы однолетних трав; 2 – лес; 3 – залежь

ВЫВОДЫ

На основании проведенных исследований установлено, что в условиях Севера минеральные почвы в ходе освоения обогащаются биофильными элементами. На участках, активно используемых в сельском хозяйстве, в результате вспашки, известкования и внесения удобрений происходит образование пахотного горизонта, обогащенного углеродом и другими биофильными элементами. При переводе сельскохозяйственных земель в залежь запасы биофильных элементов снижаются, однако их максимальное содержание по-прежнему отмечается в старопашотном горизонте (на глубине до 30 см). При переходе почв под залежь, зарастающую лесом, бывший пахотный горизонт стратифицируется на два подгоризонта, а запасы углерода, азота и фосфора снижаются.

Максимальные запасы биофильных элементов отмечены в уникальных для Карелии почвах на шунгитовых сланцах. При выводе из сельскохозяйственного оборота пахотные почвы достаточно быстро возвращаются к исходному состоянию, поскольку пахотные горизонты шунгитовых почв, как по морфологическому строению, так и по физическим и химическим свойствам незначительно отличаются от верхних горизонтов почв, сформировавшихся под естественной лесной растительностью на материалах, богатых шунгитовыми сланцами.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (тема № 0221-2017-0047).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агроклиматические ресурсы Карельской АССР. Л., Гидрометеиздат, 1974. 115 с.
- Ариушкина Е. В. Химический анализ почв и грунтов. М.: МГУ. 1952. 240 с.
- Владыченский А. С., Рыжова И. М., Телеснина В. М., Галиахметов Р. Т. Пространственно-временная динамика содержания органического углерода в дерново-подзолистых почвах постагрогенных биогеоценозов // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2009. № 2. С. 3–9.
- Владыченский А. С., Телеснина В. М., Румянцева К. А., Чалая Т. А. Органическое вещество и биологическая активность постагрогенных почв южной тайги на примере Костромской области // Почвоведение. 2013. № 5. С. 570–582.
- Теория и практика химического анализа почв / Под ред. Л. А. Воробьевой. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
- Галдобина Л. П. Шунгиты в истории Заонежья // Заонежье: Кижский вестник. 1993. № 2. С. 167–173.
- Глазовская М. А. Педолитогенез и континентальные циклы углерода. М.: ЛИБРОКОМ, 2009. 330 с.
- Демидов И. Н. Развитие оледенения и формирование четвертичных отложений на Заонежском полуострове // Заонежье: Кижский вестник. 1993. № 2. С. 13–23.
- Дмитриев Е. А. Математическая статистика в почвоведении. М.: МГУ, 1995. 318 с.
- Иванова Е. Н. Классификация и диагностика почв Карелии // Классификация почв СССР. М.: Наука, 1976. С. 104–145.
- Курганова И. Н., Ермолаев А. М., Лопес де Гереню В. О., Ларионова А. А., Келлер Т., Ланге Ш., Кузяков Я. В.. Баланс углерода в залежных землях Подмосковья // Почвоведение. 2007. № 1. С. 60–68.
- Курганова И. Н., Лопес де Гереню В. О., Швиденко А. З., Сапожников П. М. Изменение общего пула органического углерода в почвах России в 1990–2004 гг. // Почвоведение. 2010. № 3. С. 361–368.
- Литвинович А. В. Постагрогенная эволюция хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв северо-запада нечерноземной зоны // Агрохимия. 2009. № 7. С. 85–93.

- Литвинович А. В., Павлова О. Ю. Изменение гумусного состояния дерново-подзолистой глееватой песчаной почвы на залежи // Почвоведение. 2007. № 11. С. 1323–1329.
- Люри Д. И., Горячкин С. В., Караваева Н. А., Щенисенко Е. А., Нефедова Т. Т. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. М.: ГЕОС, 2010. 416 с.
- Мазиров М. А., Матюк Н. С., Полин В. Д., Малахов Н. В. Изменение агрохимических показателей плодородия почвы при длительном окультуривании // Владимирский земледелец. 2017. № 1 (79). С. 15–19.
- Машика А. В. Динамика содержания органического углерода в почвах еловых лесов подзоны средней тайги. Автореф. дисс. канд. биолог. наук. М., 2005. 22 с.
- Морозова Р. М., Федорец Н. Г., Бахмет О. Н. Почвы и почвенный покров Заонежья Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. 2004. Вып. 6. С. 69–89.
- Перельман А. И., Касимов Н. С. Геохимия ландшафта. М.: Астрель-2000, 1999. 610 с.
- Романовская А. А. Основы мониторинга антропогенных эмиссий и стоков парниковых газов (CO₂, N₂O, CH₄) в животноводстве при сельскохозяйственном землепользовании и изменении землепользования в России. Автореф. дисс. д-ра биолог. наук. М., 2008. 42 с.
- Романовская А. А., Карабань Р. Т. Региональные особенности баланса углерода почв на кормовых угодьях России // Известия РАН. Сер. географическая. 2008. № 4. С. 96–104.
- Роуэлл Д. Л. Почвоведение: методы и использование. М.: Колос, 1998. 486 с.
- Руководство по описанию почв. Рим, ФАО, 2012. 86 с.
- Рыжова И. М., Ерохова А. А., Подвезенная М. А. Динамика и структура запасов углерода в постагрогенных экосистемах южной тайги // Почвоведение. 2014. № 12. С. 1426–1435.
- Титлянова А. А., Наумов А. В. Потери углерода из почв Западной Сибири при их сельскохозяйственном использовании // Почвоведение. 1995. № 11. С. 1357–1362.
- Тюрин И. В. Органическое вещество почвы и его роль в плодородии. М.: Наука. 1965. 319 с.
- Федорец Н. Г., Бахмет О. Н. Экологические особенности трансформации соединений углерода и азота в лесных почвах. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2003. 240 с.
- Чалая Т. А.. Запасы углерода в почвах и растительности постагрогенных ландшафтов южной тайги: автореф. дисс...канд. биолог. наук. М.: МГУ. 2012. 22 с.
- Шекк Г. В. Дерновые шунгитовые почвы Заонежья: автореф. дисс...канд. биолог. наук. М.: МГУ, 1991. 26 с.
- Шишов Л. Л., Тонконогов В. Д., Лебедева И. И., Герасимова М. И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
- Batjes N. H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world // Europ. J. Soil Sci., 1996, v. 47, pp. 151–163.
- Davidson E. A., Ackerman I.L. Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils // Biogeochem, 1993, v. 20, pp. 161–193.
- Post W. M., Kwon K. C. Soil carbon sequestration and land use change: processes and potential // Global Change Biol., 2000, v. 6, pp. 317–328.
- Post W. M., Mann L. K. Changes in soil organic carbon and nitrogen as a result of cultivation. A. F. Bouwman (Eds). Soils and the Greenhouse Effect. John Wiley & Sons, New York, 1990, pp. 401–406.
- Poulton P. R., Pye E., Hargreaves P. R., Jenkinson D. S. Accumulation of carbon and nitrogen by old arable land reverting to woodland // Global Change Biol., 2003, v. 9, pp. 942–955.

REFERENCES

- Agroklimaticheskie resursy Karel'skoj ASSR* [Agroclimatic resources of the Karelian ASSR]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1974. 115 p.
- Arinushkina E. V. *Himicheskij analiz pochv i gruntov* [Chemical analysis of soils and grounds]. Moscow: Moscow State University Publishing, 1952. 240 p.
- Chalaja T. A. *Zapasy ugleroda v pochvah i rastitel'nosti postagrogennyh landshaftov juzhnoj tajgi*. Avtoref. diss. kand. biolog. nauk [Carbon stocks in soils and vegetation of postagrogenic landscapes in the southern taiga. Abst. diss. cand. boil. sci.]. Moscow, 2012. 22 p.
- Demidov I. N. Razvitie oledeneniya i formirovanie chetvertichnyh otlozhenij na Zaonezhskom poluostrove [The development of glaciation and the formation of Quaternary sediments on the Zaonezhye Peninsula] // *Zaonezhje, Kizhskij vestnik*, 1993, no. 2, pp. 13–23.
- Dmitriev E. A. *Matematicheskaya statistika v pochvovedenii* [Mathematical statistics in soil science]. Moscow: Moscow State University Publishing, 1995. 318 p.
- Fedorets N. G., Bahmet O. N. *Ekologicheskie osobennosti transformatsii soedinenij ugleroda i azota v lesnih pochvah* [Ecological settings of carbohydrate and nitrogen transformations in forest soils]. Petrozavodsk: Karelian Research Center RAS, 2003. 240 p.
- Galdobina L.P. Shungity v istorii Zaonezh'ja [Shungits in the history of Zaonezhje] // *Zaonezhje, Kizhskij vestnik*, 1993, no. 2, pp. 167–173.
- Glazovskaya M. A. *Pedolitogenez i kontinental'nye cikly ugleroda* [Pedolithogenez and continental cycles of carbon]. Moscow: LIBROKOM, 2009. 330 p.
- Ivanova E. N. Klassifikacija i diagnostika pochv Karelii [Classification and diagnostics of soils of Karelia] // *Klassifikacija pochv SSSR* [Classification of soil of USSR]. Moscow: Nauka, 1976, pp. 104–145.

- Kurganova I. N., Yermolaev A. M., Lopes de Gerenyu V. O., Larionova A. A., Kuzyakov Ya., Keller T., Lange S. Carbon balance in the soils of abandoned lands in Moscow region // *Euras. Soil Sci.*, 2007, v. 40, no. 1, pp. 51–58.
- Kurganova I. N., Lopes de Gerenyu V. O., Shvidenko A. Z., Sapozhnikov P. M. Changes in the organic carbon pool of abandoned soils in Russia (1990–2004) // *Euras. Soil Sci.*, 2010, v. 43, no. 3, pp. 333–340.
- Litvinovich A. V. Postagrogennaya ehvoluciya horosho okul'turenyh dernovo-podzolistyh pochv severo-zapada nechernoziemnoj zony [Postagrogenic Evolution of Well Cultivated Soddy-Podzolic Soils in the Northwestern Nonchernozemic Zone] // *Agrochemistry*, 2009, no. 7, pp. 85–93.
- Litvinovich A. V., Pavlova O. Yu. Changes in the humus status of a layland sandy gleyic soddy-podzolic soil // *Euras. Soil Sci.*, 2007, v. 40, no. 11, pp. 181–1186.
- Lyuri D. I., Goryachkin S. V., Karavaeva N. A., Shchenisenko E. A., Nefedova T. T. *Dinamika sel'skohozyajstvennyh zemel' Rossii v XX veke i postagrogennoe vosstanovlenie rastitel'nosti i pochv* [Dynamics of agricultural lands in Russia in the XX century and postagrogenic restoration of vegetation and soils]. Moscow: GEOS, 2010. 416 p.
- Mashika A. V. *Dinamika soderzhaniya organicheskogo ugleroda v pochvah elovyh lesov podzony srednej tajgi*. Avtoref. diss. kand. biolog. nauk [Dynamics of organic carbon content in soils of spruce forests of middle taiga subzone. Abst. dis.can.boil. sci.]. Moscow, 2005. 22 p.
- Mazirov M. A., Matyuk N. S., Polin V. D., Malakhov N. V. Izmenenie agrohimicheskikh pokazatelej plodorodiya pochvy pri dlitel'nom okul'turivanii [Changes of agrochemical indicators of soil fertility during prolonged cultural treatment] // *Vladimirskij zemledec*, 2017, no. 1(79), pp. 15–19.
- Morozova R. M., Fedorets N. G., Bahmet O. N. Pochvy i pochvennyj pokrov Zaonezh'ja Karelii [Soils and soil cover of Karelian Zaonezhje] // *Trudy Karel'skogo nauchnogo centra RAN*, 2004, no. 6, pp. 69–89.
- Perel'man A. I., Kasimov N. S. *Geohimija landshafta* [Geochemistry of landscapes]. Moscow: Astreja-2000, 1999. 610 p.
- Romanovskaya A. A. Osnovy monitoringa antropogennyh ehmissij i stokov parnikovyh gazov (CO₂, N₂O, CH₄) v zhivotnovodstve, pri sel'skohozyajstvennom zemlepol'zovanii i izmenenii zemlepol'zovaniya v Rossii. Avtoref. diss. dokt. biolog. nauk [Bases of monitoring of anthropogenic emissions and sinks of greenhouse gases (CO₂, N₂O, CH₄) in animal husbandry, agricultural land use and land use change in Russia. Dr. biol. sci. abst. diss.]. Moscow, 2008. 42 p.
- Romanovskaya A. A., Karaban' R. T. Regional'nye osobennosti balansa ugleroda pochv na kormovyh ugod'yah Rossii [Regional Features of Soil Carbon Balance on Pastures and Hayfields in Russia] // *Izvestiya RAN. Ser. Geograficheskaya*, 2008, no. 4, pp. 96–104.
- Rowell D. L. *Pochvovedenie: metody i ispol'zovanie* [Soil Science: Methods and Applications]. Moscow: Kolos, 1998. 486 p.
- Rukovodstvo po opisaniju pochv* [Guidance to soil description]. Rim, FAO, 2012. 86 p.
- Ryzhova I. M., Erokhova A. A., Podvezennaya M. A. Dynamics and structure of carbon storage in the postagrogenic ecosystems of the southern taiga // *Euras. Soil Sci.*, 2014, v. 47, no. 12, pp. 1207–1215.
- Shekk G. V. *Dernovye shungitovye pochvy Zaonezh'ja*. Avtoref. diss. kand. biolog. nauk [Soddy shungite soils of Zaonezhje. abst. diss. cand. biol. sci.]. Moscow, 1991. 26 p.
- Shishov L. L., Tonkonogov V. D., Lebedeva I. I., Gerasimova M. I. *Klassifikacija i diagnostika pochv Rossii* [Classification and diagnostics of soils of Russia]. Smolensk: Ojkumena, 2004. 342 p.
- Titljanova A. A., Naumov A. V. Poteri ugleroda iz pochv Zapadnoj Sibiri pri ih sel'skohozyajstvennom ispol'zovanii [Organic carbon losses from agricultural soils of West Siberia]. *Pochvovedenie*, 1995, no. 11, pp. 1357–1362.
- Tjurin I. V. *Organicheskoe veshhestvo pochvy i ego rol' v plodorodii* [Soil organic matter and its role in fertility]. Moscow: Nauka, 1965. 319 p.
- Vladychensky A. S., Ryzhova I. M., Telesnina V. M., Galyakhmetov R. T. Space and time dynamics of organic carbon content in soddy-podzolic soils of post-agricultural biogeocenosis // *Moscow Univ. Soil Sci. Bull.*, 2009, v. 64, no. 2, pp. 53–59.
- Vladychenskii A. S., Telesnina V. M., Rumyantseva K. A., Chalaya T. A. Organic matter and biological activity of postagrogenic soils in the southern taiga using the example of Kostroma region // *Euras. Soil Sci.*, 2013, v. 46, no. 5, pp. 518–529.
- Teoriya i praktika himicheskogo analiza pochv* [Theory and practice of chemical analysis of soil] / Vorobieva L. A. (ed.). Moscow: GEOS, 2006. 400 p.
- Batjes N. H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world // *Europ. J. Soil Sci.*, 1996, v. 47, pp. 151–163.
- Davidson E. A., Ackerman I. L. Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils // *Biogeochem.*, 1993, v. 20, pp. 161–193.
- Post W. M., Kwon K. C. Soil carbon sequestration and land use change: processes and potential // *Global Change Biol.*, 2000, v. 6, pp. 317–328.
- Post W. M., Mann L. K. Changes in soil organic carbon and nitrogen as a result of cultivation // *Soils and the Greenhouse Effect* / A.F. Bouwman (Eds.). New York, John Wiley & Sons, 1990, pp. 401–406.
- Poulton P. R., Pye E., Hargreaves P. R., Jenkinson D. S. Accumulation of carbon and nitrogen by old arable land reverting to woodland // *Global Change Biol.*, 2003, v. 9, pp. 942–955.