

3. Мудрых Н.М., Самофалова И.А. Моделирование пространственной изменчивости агрохимических показателей почв в агроландшафтах Нечерноземья // Агрохимический вестник. 2019. № 5. С. 17-24.

PREDICTION OF AGROCHEMICAL INDICATORS IN SOILS OF DRAINED LANDS

N.M. Mydrykh, M.I. Pinaeva

Perm SATU, Perm, Russia

Abstract. The studies were carried out on three soils of reclaimed lands (dried sod-gleepy, dried sod-gleyed, dried soddy podzolization). Correlation dependence between acidic properties and nutritive elements. Predictive models of established dependencies are built.

Keywords: acidity, nutritive elements, correlation analysis, regression analysis, models.

References

1. Gumbarov A.D., Dolobeshkin E.V. Estimation of the initial agrochemical index of farmland fertility by average weighted integral indices // New Technologies. 2019. № 2. Pp. 204-216.
2. Malashin S.N., Samorukov V.I., Samorukov D.V. Assessment of the quality of soil fertility of agricultural lands of farms of the Leningrad region // Izvesniya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2021. Vol. 64, No. 3. PP. 47-57.
3. Mudrykh N.M., Samofalova I.A. Simulation of spatial variability of agrochemical indicators of soils in agricultural fertilizers of the Non-chernozem region // Agrochemical Herald. 2019. № 5. PP. 17-24.

УДК 631.4: 631.417.1

ДОСТИЖИМ ЛИ ПОКАЗАТЕЛЬ «4 ПРОМИЛЛЕ» ДЛЯ ПАХОТНЫХ ПОЧВ ПРИВОЛЖСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА И МОЖНО ЛИ ОБНАРУЖИТЬ ИЗМЕНЕНИЯ?

В.А. Романенков¹, Ю.Л. Мешалкина^{1, 2}, В.П. Самсонова¹, В.А. Добровольская¹,
А.Ю. Горбачева¹, А.Н. Кренке³

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия,

² РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Россия

³ Институт географии РАН, Москва, Россия

Аннотация. Рассчитаны скорости секвестрации углерода пахотными почвами в слое 0 – 30 см, необходимые для достижения целей «4 промилле» и «2 промилле» для Приволжского ФО в разрезе административно-территориального и почвенно-географического деления, сделаны выводы об их достижимости и возможности обнаружения изменений на уровне элементарного контура.

Ключевые слова: секвестрация углерода, изменение климата, объем выборки.

Согласно Федеральному закону № 296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов» от 02.07.2021 представляется необходимой разработка научной базы по оценке потенциала секвестрации углерода почвами с учетом почвенно-географического районирования. Взамен глобальной цели «4 промилле» отечественными учеными было предложена национальная цель – «2 промилле» с периодом реализации в течение 12 – 15 лет, после чего прогнозируется насыщение пахотных почв углеродом [1].

В 2021 г. ФАО ООН презентовала глобальную карту потенциала секвестрации углерода почвами сельхозугодий (*GSOCseq*) [4]. Она представляет собой серию картографических данных, которые получены путем моделирования на основе общедоступной информации о характеристиках почв, данных климата, типах землепользования, продолжительности вегетации и других. Моделирование было унифицировано для экспертов всех стран и проводилось с помощью Ротамстедской модели динамики углерода *RothC*. Карты содержали информацию о скорости секвестрации углерода (т С/га в год) верхним 30-см слоем почв с разрешением 1 км. Каждая точка карты включает 4 сценария прогноза скорости секвестрации в зависимости от выбранной оператором стратегии землепользования: сценарий неизменного хозяйствования (далее - BAU) или сценарии применения углеродсберегающих технологий (SSM1, SSM2 и SSM3). Последние предполагают увеличение поступающего органического вещества в почву по сравнению с BAU на 5, 10 и 20%, соответственно. Целевые уровни 4 и 2 промилле для каждой территориальной единицы могут быть рассчитаны как доли от смоделированного на 2020 г. запаса углерода.

Целью данной работы было применить методику ФАО на территории Приволжского ФО (ПФО) и на этой основе оценить достижим ли показатель «4 промилле» или «2 промилле» для пахотных почв ПФО. Второй вопрос, который затрагивается в этой работе – сколько нужно отобрать образцов, чтобы обнаружить изменения через 20, 30 или 40 лет? Территория ПФО изучалась согласно административно-территориальному и почвенно-географическому делению [3]. ПФО состоит из четырнадцати субъектов федерации и располагается на территории восьми почвенно-географических зон.

Результаты работы показали, что баланс углерода пахотных почв ПФО в целом положительный, что говорит о вкладе данного региона в секвестрацию углерода в масштабе всей страны. Скорость секвестрации углерода пахотными почвами административных субъектов, входящих в состав ПФО, также всегда положительная и достигает от 27 до 71 кг С/га в год даже при сценарии неизменного хозяйствования (табл. 1).

Таблица 1

Скорость секвестрации органического углерода почвами (кг С/га в год) для различных сценариев землепользования и значения показателей 2 и 4 промилле

Субъекты / Зоны	2 про-милле	4 про-милле	Сценарии			
			BAU	SSM1	SSM2	SSM3
Административно-территориальное деление						
Саратовская область	187,2	374,4	27,0	61,7	94,9	161,7
Пензенская область	244,2	488,5	30,8	78,1	119,4	205,4
Оренбургская область	207,3	414,7	33,2	67,0	103,1	174,9
Кировская область	98,8	197,6	40,2	54,1	69,3	101,0
Республика Марий Эл	100,5	201,0	44,2	57,5	73,5	106,0
Республика Мордовия	190,4	380,7	49,7	89,7	120,6	184,9
Самарская область	210,4	420,8	52,1	90,5	128,7	203,4
Республика Башкортостан	223,2	446,4	55,3	98,4	135,6	211,8
Пермский край	91,6	183,1	56,9	83,6	101,2	132,8
Удмуртская республика	112,0	223,9	57,0	81,8	101,6	140,7

Чувашская Республика	157,6	315,1	64,6	90,2	115,8	167,2
Нижегородская область	164,7	329,3	65,0	92,7	120,4	175,0
Ульяновская область	237,1	474,1	66,8	110,1	151,7	234,3
Республика Татарстан	185,8	371,6	71,1	107,6	140,6	204,8
Почвенно-географическое деление						
Алданская горная провинция	212,5	424,9	-0,4	37,3	72,8	144,7
Зона темно-каштановых и каштановых почв	142,2	284,4	23,4	51,6	78,2	130,9
Зона обыкновенных и южных черноземов степи	196,3	392,5	32,3	64,8	99,4	168,3
Зона дерново-подзо-листных почв южной тайги	90,7	181,5	40,9	57,5	72,2	102,1
Зона оподзоленных, выщ. и типичных черноземов и серых лесных почв	230,6	461,1	54,0	98,5	138,4	218,8
Зона серых лесных почв лиственных лесов	148,1	296,1	63,3	90,9	115,6	164,6

Незначительная эмиссия углерода (-0,4 кг С/га в год) наблюдается лишь в горной провинции. Обнаружена тенденция увеличения поглощения углерода в ряду каштановые почвы – черноземы – дерново-подзолистые почвы – серые лесные почвы. В целом, эти данные согласуются с недавними исследованиями [2].

Можно констатировать также эффективность применения углеродсберегающих практик на территории ПФО. При поступлении дополнительных объемов органического вещества в почву скорость секвестрации для всех территориальных единиц показывает увеличение (табл. 1).

В работе были рассчитаны целевые значения 4 и 2 промилле для каждой территориальной единицы как соответствующая доля от запаса углерода в почве на 2020 год. В результате оценки достижимости этих показателей оказалось, что ни одна территория не способна секвестрировать достаточно углерода, чтобы удовлетворить цели «4 промилле». Сравнение этих значений с полученными скоростями секвестрации углерода показали возможность достижения национальной цели «2 промилле» только при использовании сценария углеродсберегающих технологий самой высокой интенсивности (SSM3). В разрезе административно-территориального деления такой результат может быть получен для республик Марий Эл, Татарстан, Удмуртской и Чувашской республики, Пермского края, Кировской и Нижегородской областей, в разрезе почвенно-географического районирования – для зон дерново-подзолистых почв южной тайги и серых лесных почв лиственных лесов.

Построение моделей изменения запасов органического вещества основано на использовании усредненных данных (климата, рельефа, свойствах почвенного покрова и т.п.), которые усредняются для больших территорий в соответствии с размерами пикселей. При этом происходит потеря информации о действительной изменчивости показателя в пределах «точки» опробования, подразумевая под «точкой» территорию опытного участка или размер пикселя. Покажем на примере, какая повторность первичных данных нужна для выявления изменения содержания органического углерода в 30 – ти см слое почвы на территории опытного участка размером 100 гектаров (1 кв. км). Расчеты были произведены

исходя из начальной средней концентрации в 1,27% (цифра получена из среднего запаса углерода пахотных угодий Пермского края при плотности почвы 1,2 г/см³ и мощности слоя в 30 см) и возможного ежегодного прироста в 2 и 4 промилле (табл. 2). Минимальная величина коэффициента вариации, соответствующая аналитической неопределенности метода Тюрина в условиях воспроизводимости составляет 5 – 8%, а в реальных условиях, на площади 50 – 100 га, может достигать 20% и более. Соответственно, значения стандартного отклонения – 0,20% выглядит разумным. Задав уровень значимости *альфа* – 0,05 и мощность критерия (вероятность принятия гипотезы о равенстве средних значений, когда они на самом деле неравны. необходимый инструмент оценки качества принимаемых решений) – 0.80, можно рассчитать необходимую повторность определения содержания органического углерода через 20, 30 и 40 лет. Оказывается, если условия накопления углерода будут постоянными и равными 2 промилле в год при однородных условиях варьирования, лишь через 40 лет эффект накопления будет можно обнаружить с достаточно высокой надежностью, которая задается уровнем мощности критерия, при объеме выборки 60.

Таблица 2

Расчет числа повторностей, необходимых для подтверждения изменения среднего содержания углерода при мощности критерия 80% на уровне опытного участка (Пермский край) при начальном содержании углерода 1,27%

Срок наблюдений	20 лет		30 лет		40 лет	
	2 про-милле	4 про-милле	2 про-милле	4 про-милле	2 про-милле	4 про-милле
Национальная цель						
Среднее содержание С в конце наблюдений, %	1.32	1.37	1.35	1.42	1.37	1.48
Ст. отклонение, %	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Стандартизованный эффект	0.25	0.50	0.40	0.74	0.52	1.04
Значение t-критерия	1.96	1.98	1.97	2.00	1.98	2.04
Необходимая повторность (для каждой группы)	253	64*	100	29	60*	16

* Разница значений связана с округлением

Таким образом, для того чтобы на уровне элементарного пикселя (100 га) надежно обнаружить изменения, предсказываемые применением глобальных моделей, требуется достаточно большая повторность, практически достижимая только через 40 лет.

Баланс углерода в почвах Приволжского федерального округа положителен при всех рассмотренных сценариях землепользования. Наибольшая скорость секвестрации наблюдается в зоне серых лесных почв лиственных лесов. Углеродсберегающие технологии способствуют росту этого показателя на всех рассмотренных территориях. Достижение целей инициативы «4 промилле» невозможно в ПФО. Выполнение же цели на уровне 2 промилле реально для ряда территориальных единиц только при увеличении поступления органического вещества на 20%.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения "Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

Литература

1. Иванов А.Л., Столбовой В.С. Инициатива "4 промилле" – новый глобальный вызов для почв России // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2019. Вып. 98. С. 185-202. doi: 10.19047/0136-1694-2019-98-185-202
2. Когут Б.М., Семенов В.М. Оценка насыщенности почвы органическим углеродом // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Вып. 102. С. 103-124. doi: 10.19047/0136-1694-2020-102-103-124
3. Урусевская И.С., Алябина И.О., Шоба С.А. Карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации. Масштаб 1:8 000 000. Пояснительный текст и легенда к карте: Учебное пособие / отв. ред. И.С. Урусевская. М.: МАКС Пресс, 2020. 100 с.
4. Technical specifications and country guidelines for Global Soil Organic Carbon Sequestration Potential Map (GSOCseq). Rome: FAO, 2020. 34 p.

IS THE INDICATOR "4 PPM" REACHABLE FOR PACKAGE SOILS OF THE VOLGA FEDERAL DISTRICT AND IN HOW MANY YEARS CAN CHANGES BE DETECTED?

V.A. Romanenkov¹, J.L. Meshalkina^{1,2}, A.Yu. Gorbacheva¹, V.A. Dobrovolskaya¹, A.N. Krenke³

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia,

²Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

³Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. For the Volga Federal District, the soil carbon sequestration rates were estimated for arable soils in a layer of 0 – 30 cm. There possibility to achieve the "4 per 1000" and "2 per 1000" goals were revised in the context of administrative-territorial and soil-geographical divisions. The possibility to detect these changes at the level of the elementary contour were checked.

Keywords: carbon sequestration, climate change, sample size.

References

1. Ivanov A.L., Stolbovoi V.S. The initiative "4 per 1000" – a new global challenge for the soils of Russia // Dokuchaev Soil Bull. 2019. V. 98. P. 185-202.
2. Kogut B.M., Semenov V.M. Estimation of soil saturation with organic carbon. // Dokuchaev Soil Bull. 2020. V. 102. P. 103-124..
3. Urusevskaya I.S., Alyabina I.O., Shoba S.A. Map of Soil and Ecological Zoning of the Russian Federation. Scale 1:8,000,000. Explanatory Text and Legend to the Map: Training Manual, Urusevskaya I.S., Ed. Moscow: MAKS Press Publ., 2020. 100 p.
4. Technical specifications and country guidelines for Global Soil Organic Carbon Sequestration Potential Map (GSOCseq). Rome: FAO, 2020. 34 p.

**МЕТРОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ЗАПАСОВ
ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВЫ**

В.П. Самсонова¹, Ю.Л. Мешалкина^{1,2}, М.И. Кондрашкина¹, С.Е. Дядькина¹

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия,

²РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Россия

Аннотация. Рассматривается роль неопределенностей, возникающих на разных этапах оценки запасов почвенного органического вещества. С учетом неопределенностей сопутствующих переменных общая относительная неопределенность результата может превышать 20%.

Ключевые слова: запасы углерода, неопределенность, планирование эксперимента

Почва является резервуаром, в котором сосредоточены гигантские запасы углерода. Изменение климата, хозяйственная деятельность и естественное функционирование биогеоценозов могут изменять запасы, при отсутствии катастрофических природных и антропогенных воздействий содержание органического углерода в глобальном масштабе должно оставаться приблизительно постоянным. Однако локальное изменение запасов углерода может быть ощутимым. Так, например, сведение леса и развитие ветровой эрозии на конкретной территории приведет к закономерным потерям органического углерода в верхнем слое почвы вследствие выноса частиц почвы, одновременно эти частицы, откладываясь на других участках, увеличат запас гумуса. Если рассматривать эти участки изолированно, не учитывая совместные связи, выводы о динамике углерода могут быть прямо противоположными.

Большую роль в получении объективных результатов о запасах органического углерода в почве играет правильно спланированный эксперимент. В настоящее время большинство почвоведов согласны с тем, что свойства почвы меняются в пространстве и во времени, и что для уменьшения случайности необходимо использовать статистические методы. Однако в конкретном случае применение этих методов требует понимания того, какая схема опробования была использована. Так, если на каком-то угодье был заложен единственный разрез и из пахотного горизонта была отобрана *одна смешанная* проба, составленная из пяти индивидуальных, расположенных на расстоянии от ключевого разреза на расстояниях 10 – 20 м, то анализ этой пробы на содержание органического вещества при любом числе повторностей будет характеризовать в первую очередь неопределенность *метода* определения, а не *пространственную вариабельность свойства*, которая усредняется при смешивании. Предположим теперь, что образцы, отобранные вокруг разреза, не смешивались, а были проанализированы отдельно. Если метод определения точный, то создается иллюзия, что знание об угодье тоже очень точное. Это отражается в том, что в подавляющем