

УДК 631.434.4

АГРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО В УСЛОВИЯХ НУЛЕВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Е. Н. Белоусова, А. А. Белоусов

*ФГБОУ ВО Красноярский государственный аграрный университет
660049, г. Красноярск, пр. Мира, 90
E-mail: svobodalist571301858@mail.ru*

Поступила в редакцию 11 ноября 2016 г., принята к публикации 27 февраля 2017 г.

Исследования осуществлялись в условиях производственного опыта, заложенного в СПК «Шилинское» в Красноярской лесостепи, расположенной в пределах Чулымо-Енисейского денудационного плато юго-западной окраины Средней Сибири (56°37' с. ш., 93°12' в. д.). Рассмотрены агрофизические параметры чернозема выщелоченного в условиях продолжительного отказа (в течение 7–8 лет) от механической обработки. В результате оценки агрегатного состава корнеобитаемого слоя почвы установлено существенное преобладание агрегатов > 10 мм. Надсеменная прослойка почвы слагалась из крупнокомковатых отдельностей и комочков диаметром 1–2 мм. В подсеменной толще наблюдалась тенденция к укрупнению почвенных агрегатов. Использование оцениваемой технологии нулевой обработки почвы в целом не вызвало увеличения плотности сложения до критических значений и сопровождалось тенденцией к дифференциации изучаемых слоев корнеобитаемой толщи по плотности сложения. Абсолютные значения общей пористости соответствовали оптимальным или близким к ним параметрам. В слое 5–20 см внутрисезонная зависимость общей пористости от влажности обнаружила обратный характер ($r = -0,84$). Повышенное воздухо содержание выявлено как в слое 0–5 см, так и в слое 5–20 см.

Ключевые слова: почвенный агрегат, плотность сложения, пористость аэрации, почвозащитная технология.

THE AGROPHYSICAL PARAMETERS OF LEACHED CHERNOZEM IN THE CONSERVATION NO-TILL TECHNOLOGIES

E. N. Belousova, A. A. Belousov

*Krasnoyarsk State Agrarian University
Russia, Mira Ave., 90, Krasnoyarsk, 660049
E-mail: svobodalist571301858@mail.ru*

The study was carried out in the conditions of production experiment, established in «Shilinskoe», Krasnoyarsk forest-steppe located within the Chulymo-Yenisei denudation plateau, South-Western outskirts of Central Siberia (56°37' N and 93°12' E). Agrophysical parameters of the leached chernozem which was left without tillage for 8–9 years were studied. Evaluation of aggregate distribution in the soil indicates a significant domination of aggregates > 10 mm in size. Above seedbed layer of the soil was composed of coarse aggregates and crumbs of 1–2 mm in diameter. In the soil under the seedbed layer the soil aggregates were bigger under no-till. No-till did not result in critical numbers of soil bulk density and was accompanied by a trend towards differentiation of the studied soil layers in bulk density. The absolute values of the soil total porosity corresponded to the optimal parameters for this soil type or were close to them. In the layer of 5–20 cm, the relationship between the soil total porosity and the soil moisture during the season was inversely correlated ($r = -0,84$). Increased aeration porosity was identified for both 0–5-cm and 5–20-cm layers.

Key words: aggregate of soil, bulk density, porosity aeration, soil protective technologies.

ВВЕДЕНИЕ

Обработка почвы является важным фактором управления агрофизическими условиями плодородия. Способ обработки и ее глубина определяются в зависимости от требований возделываемых культур и физических свойств почв (Бондарев, 2003).

На современном этапе земледелия система основной обработки черноземов претерпела изменения. Широко применяемая вспашка уступила место почвозащитной безотвальной обработке. Исследования механики уплотнения и разуплотнения сибирских черноземов, проведенные Н. И. Буянкиным и В. Н. Слесаревым (2004),

указывают на возможность ограничения механического воздействия на почву. Процессы формирования агрегатной конструкции посевного слоя при отсутствии механической обработки в условиях Красноярского региона являются малоизученными и определяют необходимость дальнейшего научного поиска. Цель работы заключалась в изучении влияния почвозащитной обработки на изменение агрофизических параметров чернозема выщелоченного Красноярской лесостепи. В рамках исследования потребовалось решить следующие задачи: 1) оценить структурное состояние 0–20-сантиметрового слоя почвы в условиях отказа от механического воздействия; 2) сравнить агрофизические показатели надсеменной и подсеменной толщи почвы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились на производственном комплексе «Шилинское» в Красноярской лесостепи, расположенной в пределах Чулымско-Енисейского денудационного плато юго-западной окраины Средней Сибири (56°37' с. ш., 93°12' в. д.). Производственный опыт был заложен в 2006 г. Продолжительность изучения влияния почвозащитных технологий к моменту начала настоящего исследования составила семь лет.

В течение вегетационного сезона 2013 г. земельный массив, на котором применялась технология нулевой обработки, находился в условиях химического пара. Здесь была проведена трехкратная обработка баковой смесью из гербицидов «Топик» и «Ковбой», фунгицида «Альто Супер» и инсектицида «Карате». В третьей декаде августа без предварительной подготовки почвы была посеяна озимая тритикале комбинированным агрегатом СС-6 с механическим высевом семян. Ее вегетационный период пришелся на 2014 г.

Объектом исследований являлась почва длительного стационарного опыта. На основании морфогенетического анализа

почвенных профилей на реперном участке было установлено, что исследуемая почва – чернозем выщелоченный среденегумусный среднемогучий сильноосмытый легкоглинистый на красно-бурой глине. Почва опыта характеризуется средним содержанием гумуса (4,7%) и нейтральной реакцией среды (pH_{H_2O} 6,8). Сумма обменных оснований колеблется от 60 до 62 смоль(экв) kg^{-1} почвы. Гидролитическая кислотность изменяется от 0,2 до 0,6 смоль(экв) kg^{-1} почвы. Степень насыщенности основаниями составляет 99%. В пределах производственных посевов был выделен реперный участок удлиненной формы площадью 500 m^2 . Трижды за вегетационный сезон из слоев 0–5 и 5–20 см отбирались почвенные образцы методом змейки. Объем выборки – 15 индивидуальных проб.

Химические и физико-химические показатели были получены по общепринятым прописям современных методов: содержание гумуса – титриметрически по И. В. Тюрину, оценка актуальной кислотности – потенциметрически, сумма обменных оснований – по Каппену-Гильковицу (Воробьева, 2006). Структурный состав почвы изучался при естественной влажности по методу Н. И. Саввинова, влажность – термостатно-весовым методом, гранулометрический состав почвы – методом пипетки, плотность сложения – буровым методом, плотность твердой фазы – пикнометрически, общая пористость ($P_{общ}$) и пористость аэрации ($P_{аэр}$) – расчетным методом по Н. А. Качинскому (Шеин, 2005). Статистический анализ данных проводился с использованием пакета программ MS Excel.

В годы наблюдений (2013–2014 гг.) распределение тепла и влаги было неодинаковым. Метеорологические показатели периода активной вегетации сельскохозяйственных культур в 2013 и 2014 гг. представлены в табл. 1.

Таблица 1. Метеорологические показатели в годы наблюдений.

Год	Месяц					Сумма за вегетацию
	май	июнь	июль	август	сентябрь	
Средняя температура воздуха, °С						
2013	7,2	15,0	18,6	16,5	6,5	1535
2014	6,8	16,0	19,2	15,9	6,5	1565
Норма (1981–2010 гг.)	8,7	15,5	18,3	14,9	8,3	1627
Осадки, мм						
2013	103,8	60,2	50,5	93,9	58,7	367,1
2014	53,5	50,4	89,4	74,9	32,4	300,6
Норма (1981–2010 гг.)	34,7	46,8	64,5	58,6	42,5	247,0

В 2013 г. температура воздуха была ниже нормы в начале и конце вегетационного сезона. Выпало 367 мм осадков, что превысило средние многолетние значения на 120 мм. Избыточно влажными оказались май, июнь и сентябрь. Следующий сезон характеризовался значительным накоплением тепла и приблизился к норме по показателям температуры воздуха. Исключение составили майский и сентябрьский периоды наблюдений. Количество осадков колебалось в широком диапазоне с тенденцией к превышению средней многолетней нормы. На протяжении большинства месяцев теплого периода 2014 г. увлажнение было несколько повышенным относительно средней многолетней нормы, но более низким по сравнению с предыдущим сезоном. Максимальное количество осадков выпало в июле – 89 мм. Подобное сочетание тепла и влаги обеспечивает достаточное увлажнение в течение периода вегетации

полевых культур. Величина ГТК за июнь-август составила 1,3 (согласно Г. Т. Селянинову).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Применяемая технология обработки почвы по-разному воздействует на иерархически различные уровни почвенного тела. Организующим компонентом агрегатов являются минералы илистых и коллоидных размерностей. Влажность, в свою очередь, служит основным фактором, определяющим силу коагуляционных контактов и прочность агрегатов. Полученные в результате исследований данные указывают на легкоглинистый гранулометрический состав почвы и позволяют отнести ее к пылевато-иловатым легким глинам в соответствии с классификацией Н. А. Качинского. В почвенной массе гумусово-аккумулятивного горизонта значительную долю занимают фракции крупной пыли и ила (рис. 1).

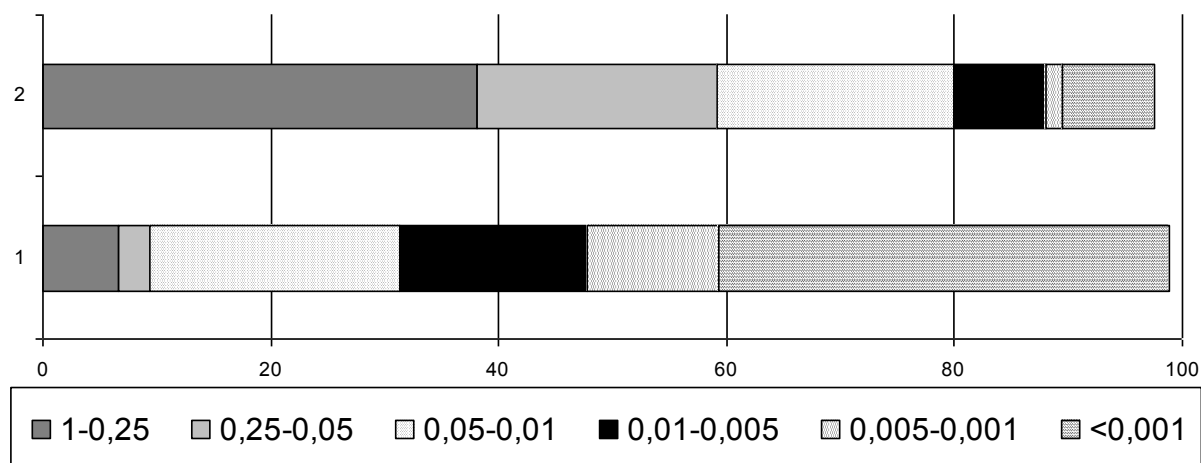


Рис. 1. Гранулометрический (1) и микроагрегатный (2) состав чернозема выщелоченного в слое 0–20 см

Результаты исследования микроагрегатного состава выщелоченного в вариантах опыта свидетельствуют о накоплении агрономически важных фракций микроагрегатов ($> 0,05$ мм). Их содержание достигает 54%. Количество самой мелкой фракции ($< 0,001$ мм) существенно снижается по сравнению с данными о гранулометрическом составе. По-видимому, вся илистая фракция участвовала в формировании микро- и макроагрегатов. Как известно, соотношение данных о гранулометрическом и микроагрегатном составе позволяет судить о потенциальной способности почв к агрегированию (Качинский, 1965). Установленные значения коэффициента (K_d) свидетельствуют о «хорошем» уровне микроструктурности почвы ($K_d = 20,5$).

Применение почвозащитных технологий приводит к существенным изменениям в перераспределении почвенной массы корнеобитаемого слоя, прежде всего его верхней части. В большинстве публикаций авторы анализируют свойства слоев почвы 0–10 и 10–20 см. В настоящем исследовании для наблюдений были выбраны слои почвы 0–5 и 5–20 см, исходя из того, что используемая в опыте посевная техника оказывала механическое воздействие на глубину 4–5 см. Важно отметить различную функциональность надсеменного (0–5 см) и подсеменного (5–

20 см) слоев, особенно в условиях безотвальной системы обработки. Первый из них выполняет функцию мульчирования и, по данным Н. А. Коротких с соавт. (2013), может запускать в производственных условиях процессы почвообразования, приближающиеся к естественным.

Чередование условий иссушения-увлажнения не занятой растениями почвы (химический пар) в вегетационный сезон 2013 г. определило ее крошение на крупнокомковатые агрегаты и отдельности > 10 мм (табл. 2), причем подсеменная толща отличалась значительным глыбообразованием только в мае. Оно осуществлялось в результате хаотического дробления и разделения почвы на отдельные фрагменты при ее объемных изменениях. Одной из причин значительной глыбистости, по мнению Б. И. Тарасенко (2014), могут быть средние значения содержания гумуса. В почве исследуемого варианта его содержание является относительно малым для сибирских черноземов (4,7%), что не позволяет смягчить неблагоприятное влияние избытка глины и ила. В целом корнеобитаемый слой (0–20 см) почвы отличался минимальными значениями коэффициента структурности. Достоверных связей между выходом агрономически ценных фракций (АЦФ) и динамикой увлажнения не обнаружено.

Таблица 2. Динамика структурного состава чернозема выщелоченного (* – доверительный интервал), %

Параметры	2013			2014		
	май	июнь	октябрь	июнь	июль	сентябрь
0–5 см						
> 10 мм	58,1±8,2*	48,2±7,9	53,6±7,7	13,7±5,5	22,9±6,4	40,5±10,2
10–0,25 мм	41,7±8,2	51,7±8,0	46,2±7,6	85,0±5,2	76,7±6,3	59,4±10,2
$< 0,25$ мм	0,3	0,0	0,2	1,9	0,3	0,1
$K_{стр}$	0,7	1,1	0,8	5,4	3,3	1,5
5–20 см						
> 10	70,1±6,6	50,1±7,0	51,3±6,1	26,2±4,8	26,6±4,2	41,8±5,3
10–0,25 мм	29,8±6,6	46,8±4,6	49,3±6,1	73,0±4,6	73,4±4,4	59,0±5,5
$< 0,25$ мм	0,1	0,0	0,0	0,8	0,3	0,1
$K_{стр}$	0,4	0,9	0,9	2,7	2,7	1,4

В течение следующего вегетационного сезона формирование агрегатов ценного размера (АЦФ) в почве, где отсутствовало механическое перемешивание, определялось уровнем полевой влажности ($r = -0,5 \pm 0,13$). В период активной вегетации озимой тритикале содержание агрегатов ценного размера соответствовало отличному уровню. Особенностью осеннего срока наблюдений являлось огрубление почвенной структуры. По-видимому, циклические изменения уровня влаги обусловили смену механизма связывания почвенных частиц. Вероятно, в период июнь-июль, когда содержание почвенной влаги было минимальным, упрочнение структурных связей в агрегатах определялось клеящими свойствами органо-минерального комплекса и межчастичными силами ближнего действия (Хайдапова, 2004). Позднее отсутствие рыхлящего действия корневой системы злака и повышение уровня влажности обусловили замедление процесса крошения почвы и сопровождались существенным увеличением доли крупных отдельностей.

По содержанию АЦФ исследуемые слои почвы существенно отличались в течение вегетационного сезона 2013 г. Вероятно, ключевым здесь мог стать агроклиматический фактор. Прохладные и влажные условия весны (рис. 4), а также полное отсутствие механического

перемешивания и корневого давления полевых культур могли, вероятно, препятствовать процессам разуплотнения и крошения почвы в результате ее усадки. Экспериментальные материалы В. И. Макеевой (1988) подтверждают, что сила влияния данного технологического свойства превосходит силы структурных связей, которые придают почвенной массе наибольшую прочность. Это отрицательно отразилось на способности почвы к крошению. Практически аналогичная ситуация повторилась в июне следующего вегетационного сезона.

В результате оценки фракционного состава чернозема выщелоченного за годы наблюдений установлено существенное преобладание агрегатов > 10 мм. Надсеменная прослойка почвы слагалась из крупнокомковатых отдельностей и комочков диаметром 2–1 мм. В подсеменной толще наблюдалась тенденция к укрупнению почвенных агрегатов (рис. 2). В результате применения почвообрабатывающих орудий (или их комплекса) формируется характерная для данной обработки плотность пахотного слоя почвы, которая в свою очередь обеспечивает максимальный урожай при определенном режиме увлажнения (Конищев, 2013). Далее будет рассмотрено, как изучаемая технология обработки изменяла сложение почвы.

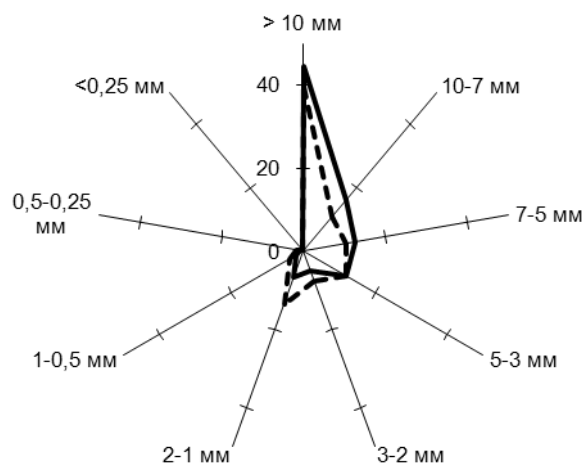


Рис. 2. Структурный «портрет» чернозема выщелоченного (%) в среднем за 2 года:

— — — 0–5 см, ————— 5–20 см.

Согласно оценочным шкалам (Качинский, 1965; Медведев, 2004), плотность почвы пахотного слоя характеризовалась как незначительная. Полученные данные свидетельствуют о пониженных величинах показателя и согласуются с данными ряда исследований почв сибирского региона (Вередченко, 1961; Бугаков с соавт., 1981; Чупрова с соавт., 1999; Белоусов с соавт., 2013). Рыхлое сложение почв земледельческой части Красноярского края авторы связывают с длительным пребыванием их в мерзлом состоянии, а также растрескиванием в результате периодического иссушения летом и возрастания пористости. Материалы исследований (Берзин, 1982) также свидетельствуют о существенных непроизводительных потерях влаги на физическое испарение при плотности почвы ниже оптимальной. Однако указанные характеристики были получены для почв, обрабатываемых классическим отвальным способом. В результате отказа от механической обработки почвы уровень ее уплотнения повысился, однако находился в пределах оптимума. Наибольшие изменения коснулись верхней (0–5 см) части корнеобитаемого слоя: от летнего периода к осени происходило достоверное снижение плотности. В слое 5–20 см ее параметры оставались статистически равнозначными. Существует ряд доказательств того, что пористость в верхнем слое почвы 5 см может быть более высокой при нулевой обработке почвы. Увеличение пористости может быть

вызвано накоплением органического вещества на данной глубине и повышением деятельности макрофауны (Муминджанов, 2015). Очевидно, сохранение растительных остатков, предшествующих полевым культурам, на поверхности почвы, активизирует накопление молодых органических веществ, увеличивая устойчивость к деформациям и улучшая макропористость почвы. По мнению В. В. Медведева (2004), сразу после обработки почва имеет агрофизические характеристики, благоприятные для развития растений. При этом она выведена из равновесного состояния, и ее плотность, как правило, ниже равновесной. В дальнейшем, по мнению автора, происходит быстрая усадка почвы, скорость которой определяется количеством и интенсивностью выпадающих осадков, а также водопроницаемостью. В результате настоящего исследования было установлено, что уровень увлажнения существенно влиял на внутрисезонную динамику плотности почвы. Выявлена зависимость плотности почвы от уровня увлажнения в вегетационный сезон 2013 г.: умеренная обратная ($r = -0,59 \pm 0,07$) – для слоя 0–5 см, сильная обратная ($r = -0,72 \pm 0,06$) – для слоя 5–20 см.

На протяжении вегетационного сезона 2014 г. максимальная величина плотности почвы была установлена в слое 5–20 см в конце жизненного цикла озимой тритикале (рис. 3).

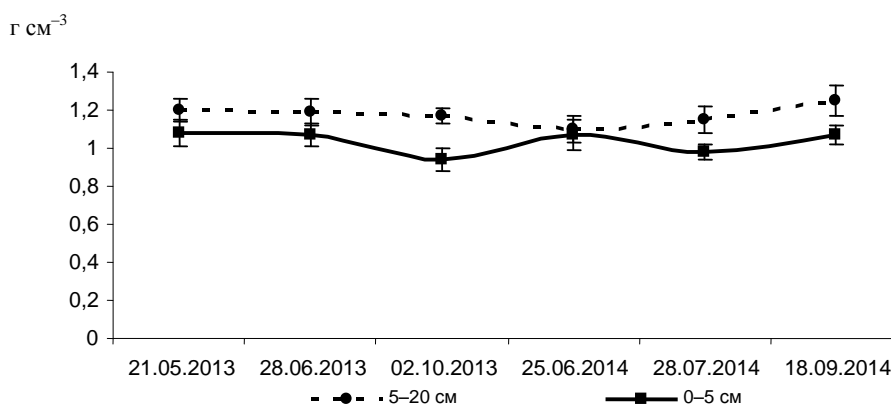


Рис. 3. Динамика плотности сложения пахотного слоя чернозема выщелоченного, г см⁻³.

Почва соответствовала уровню «плотной». В то же время в верхнем слое 0–5 см проявилось «биологическое саморыхление» – результат аккумуляции на поверхности почвы слоя мульчи вместе с ходами отмерших корневых систем культур. Как считает В. В. Медведев (2004), незначительная дифференциация пахотного слоя по плотности может замедлять непроизводительное испарение влаги и способствовать активизации естественных процессов почвообразования. Наблюдения за динамикой плотности сложения в течение вегетационного сезона 2014 г. выявили снижение ее зависимости от уровня увлажнения до средней обратной: $r = -0,41 \pm 0,07$ для слоя 0–5 см и $r = -0,35 \pm 0,08$ для слоя 5–20 см. Таким образом, в целом за восьмилетний период использования нулевой технологии плотность сложения не достигала критических значений, однако проявлялась тенденция к дифференциации изучаемых слоев корнеобитаемой толщи по плотности сложения.

Общая пористость, а также соотношение воды и воздуха являются важными диагностическими признаками почвы как объекта механической обработки (Медведев, 2013). В результате настоящего исследования установлено закономерное снижение общей пористости при использовании нулевой обработки. Тем не менее, ее абсолютные значения соответствовали оптимальным или близким к ним параметрам (согласно шкале Н. А. Качинского). По сведениям Х. Муминджанова (2015), в условиях почвозащитных технологий степень изменения пористости может зависеть от мезо- и микропроцессов в различных слоях почвы. Характер трансформации общей пористости в различных слоях был следующим. В течение вегетационного сезона 2013 г. различия были достоверными на протяжении всего периода парования, причем в надсеменном слое уровень общей пористости превышал уровень нижележащего слоя. В следующем сезоне наблюдений были обнаружены выявленные ранее тенденции. По-видимому, повышенный уровень пористости

надсеменного слоя обусловлен его относительным насыщением растительными остатками с прошлых лет и текущего вегетационного сезона.

Важным элементом знаний о пористости почвы является ее динамичность. Она неразрывно связана с сезонными изменениями структуры, уровнем влажности и типом растительности. Рассчитанные зависимости общей пористости от внутрисезонной динамики структурных агрегатов и влажности обнаружили обратный характер воздействия влажности на динамику $P_{\text{общ}}$ в слое почвы 5–20 см ($r = -0,84$). Кроме того, среди гранулометрических фракций почвы присутствовали крупные механические элементы. При усадке почвы крупные песчаные частицы могли создавать малосжимаемый жесткий остов, препятствующий дальнейшему уменьшению ее объема. Так, в исследовании Н. И. Буйкина (2004) было установлено, что на черноземах Западной Сибири, характеризующихся плотностью сложения менее 1 г см^{-3} , происходила просадка и повышенное уплотнение относительно почв с плотностью $> 1 \text{ г см}^{-3}$. Анализируемая в настоящем исследовании почва отличалась пониженной плотностью сложения, поэтому с увеличением влажности к концу вегетационного сезона ее объем уменьшался. Как следствие, происходила усадка, сопровождающаяся небольшим уплотнением. Следовательно, процесс крошения почвы на агрегаты ценного размера замедлялся.

Информации о пористости аэрации в исследованиях, касающихся приемов земледелия, уделяется незаслуженно мало внимания, несмотря на то, что ее характеристики напрямую влияют не только на агрофизические параметры, но и на пищевой, водный режим и микробиологическую активность. Особые требования к аэрации предъявляют также сельскохозяйственные культуры. Известно, что их группы по-разному реагируют на уровень аэриозиса. Следовательно, границы оптимального содержания воздуха в почве будут смещаться в зависимости от вида растений (Кузнецова, 1990).

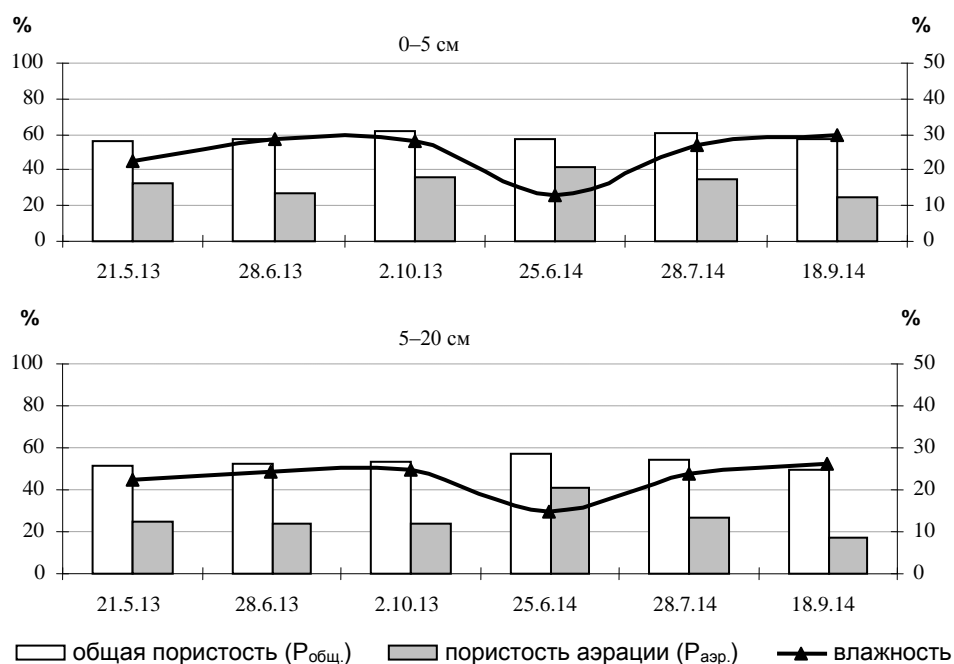


Рис. 4. Динамика пористости (%) и полевой влажности (%) чернозема выщелоченного

Анализ значений пористости аэрации в почве показал, что для корнеобитаемого слоя были характерны весьма высокие параметры (рис. 4). Известно, что минимальные параметры пористости аэрации, при которых начинается анаэробизация, соответствует 15–20% (Вадюнина, 1986). В течение всего периода наблюдений данные величины не снижались. Более того, в отдельные временные отрезки поры аэрации превышали 40%-й рубеж, что свидетельствовало о значительном насыщении почвы воздухом. По данным В. М. Таскиной (1970), в черноземе выщелоченном Красноярской лесостепи доля пор, занятых воздухом, может лежать в интервале от 15 до 23%. Следовательно, можно констатировать, что исследуемая почва характеризовалась повышенным воздуходержанием. Достоверные минимумы были выявлены в 2013 г. и, вероятно, были обусловлены отсутствием механического перемешивания в течение последних восьми лет, что способствовало переходу пористости к равновесному состоянию. Отмеченные закономерности были характерны как для слоя 0–5 см, так и для слоя 5–20 см в период май-июнь. В начале вегетационного сезона 2014 г. значения пористости аэрации были максимальными, однако к осени проявилась тенденция к существенному уменьшению

объема пор, занятых воздухом, в ряду весна – лето – осень. В целом это соответствует высказанному В. В. Медведевым (2013) положению о стремлении почвы к самоуплотнению.

ВЫВОДЫ

1. Продолжительное применение почвозащитной технологии (в течение 7–8 лет) на черноземе выщелоченном Красноярской лесостепи обусловило существенное преобладание агрегатов > 10 мм. Надсеменная прослойка почвы преимущественно слагалась из крупнокомковатых отдельностей и комочков диаметром 2–1 мм. В подсеменной толще наблюдалась тенденция к укрупнению почвенных агрегатов.

2. Отказ от механического рыхления сопровождался тенденцией к дифференциации изучаемых слоев корнеобитаемой толщи по плотности сложения, пористости и повышенному воздуходержанию.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают благодарность д.с.-х.н. Л. Р. Мукиной и И. А. Куприну за возможность проведения исследований на данном объекте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Белоусов А. А., Белоусова Е. Н. Влияние внутриверховной неоднородности почвенного плодородия на выбор элементов методики полевого опыта // Вестник Красноярского ГАУ. 2013. № 6. С. 55–62.
- Берзин А. М., Таскина В. М. Агрофизическая характеристика почв южной части Красноярского края // Агрофизическая характеристика почв степной и сухостепной зон Азиатской части СССР / ВАСХНИЛ. М.: Колос, 1982. С. 93–98.
- Бондарев А. Г. Физика и механика почв в решении современных проблем почвенного плодородия. Почвоведение: аспекты, проблемы, решения. М.: Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 2003. 620 с.
- Бугаков П. С., Горбачева С. М., Чупрова В. В. Почвы Красноярского края. Красноярск, 1981. 128 с.
- Буянкин Н. И., Слесарев В. Н. Агрофизика и кинетика в минимизации основной обработки. Калининград: Янтарный сказ, 2004. 160 с.
- Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
- Верещенко Ю. П. Агрофизическая характеристика почв центральной части Красноярского края. М.: Наука, 1961. 175 с.
- Воробьева Л. А. Теория и практика химического анализа почв. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
- Качинский Н. А. Физика почвы. М.: Высшая школа, 1965. 318 с.
- Конищев А. А. Обработка почвы: вчера, сегодня, завтра. Иваново. 2013. 125 с.
- Кузнецова И. В. Об оптимальной плотности почв // Почвоведение. 1990. № 5. С. 43–54.
- Макеева В. И. Влияние увлажнения и иссушения на структурное состояние почвы // Почвоведение. 1988. № 12. С. 80–87.
- Медведев В. В. Плотность сложения почв (генетический, экологический и агрономический аспекты). Харьков: 13 типография, 2004. 244 с.
- Медведев В. В. Физические свойства и обработка почв в Украине. Харьков: Городская типография, 2013. 224 с.
- Почвозащитное и ресурсосберегающее земледелие: теория и методика исследований. Анкара, 2015. 175 с.
- Тарасенко Б. И. Повышение плодородия почв Кубани. Краснодар: КубГАУ, 2014. 130 с.
- Таскина В. М. Агрофизические свойства выщелоченного чернозема и его биологическая активность в полях севооборотов. Пути повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Красноярск, 1970. С. 57–66.
- Травникова Л. С., Силева Т. М., Рыжова И. М., Артемьева З. С. Микроагрегирование и устойчивость органического вещества черноземов Приволжской лесостепи // Почвоведение. 2006. № 6. С. 712–720.
- Хайдапова Д. Д., Пестонова Е. А. Изменение прочности почвенных агрегатов в процессе иссушения // Материалы IV съезда Докучаевского общества почвоведов. Новосибирск, 9–14 августа 2004. Новосибирск: Наука-центр. 458 с.
- Чупрова В. В., Ерохина Н. Л. База данных по плотности сложения почв земельной территории Красноярского края // Вестник КрасГАУ. 1999. № 5. С. 84–92.
- Шейн Е. В. Курс физики почв. Учебник. М.: Изд-во МГУ, 2005. 432 с.

REFERENCES

- Belousov A. A., Belousova E. N. Vliianie vnutripol'noi neodnorodnosti pochvennogo plodorodiia na vybor elementov metodiki polevogo opyta. [Influence underfloor heterogeneity of soil fertility in the selection of items methodology of field experience] // *Vestnik Krasnoiarского GAU*, 2013, no. 6, pp. 55–62.
- Berzin A. M., Taskina V. M. Agrofizicheskaia kharakteristika pochv iuzhnoi chasti Krasnoiarского kraia. [Agrophysical characteristics of soils south of the Krasnoyarsk Territory]. *Agrofizicheskaia kharakteristika pochv stepnoi i sukhostepnoi zon Aziatskoi chasti SSSR*. [Agrophysical characteristics of soils of steppe and dry steppe zones of the Asian part of the USSR]. VASKHNIL. Moscow: Kolos, 1982, pp. 93–98.
- Bondarev A. G. Fizika i mekhanika pochv v reshenii sovremennykh problem pochvennogo plodorodiia. [Physics and soil mechanics in solving modern problems of soil fertility] *Pochvovedenie: aspekty, problemy, resheniia*. Moscow: Pochv. in-t im. V. V. Dokuchaeva, 2003. pp. 620.
- Bugakov P. S., Gorbacheva S. M., Chuprova V. V. *Pochvy Krasnoiarского kraia*. [The soils of the Krasnoyarsk Territory]. Krasnoiarск, 1981. 128 p.
- Buiankin N. I., Slesarev V. N. *Agrofizika i kinetika v minimizatsii osnovnoi obrabotki*. [Agrophysics and kinetics to minimize the main tillage]. Kaliningrad: Iantarnyi skaz, 2004. 160 p.
- Vadiunina A. F., Korchagina Z. A. *Metody issledovaniia fizicheskikh svoistv pochv*. [Methods of study of the physical properties of soil]. Moscow: Agropromizdat, 1986. 416 p.
- Veredchenko Iu. P. *Agrofizicheskaia kharakteristika pochv tsentral'noi chasti Krasnoiarского kraia*. [Agrophysical characteristic soils of the central part of the Krasnoyarsk Territory]. Moscow: «Nauka», 1961. 175 p.
- Vorob'eva L. A. *Teoriia i praktika khimicheskogo analiza pochv*. [Theory and practice of chemical analysis of soils]. Moscow: GEOS, 2006. 400 p.

- Kachinskii N. A. *Fizika pochvy*. [Soil physics]. Moscow: Vysshiaia shkola, 1965. 318 p.
- Konishchev A. A. *Obrabotka pochvy: vchera, segodnia, zavtra*. [Tillage: yesterday, today and tomorrow]. Ivanovo, 2013. 125 p.
- Kuznetsova I. V. Ob optimal'noi plotnosti pochv. [The optimal density of soil]. *Pochvovedenie*. 1990, no. 5, pp. 43–54.
- Makeeva V. I. Vliianie uvlazhneniia i issusheniia na strukturnoe sostoianie pochvy. [Influence of wetting and desiccation on the structural state of the soil]. *Pochvovedenie*, 1988, no 12, pp. 80–87.
- Medvedev V. V. *Plotnost' slozheniia pochv (geneticheskii, ekologicheskii i agronomicheskii aspekty)*. [Soil bulk density (genetic, environmental and agronomic aspects)]. Khar'kov: 13 tipografiia, 2004. 244 p.
- Medvedev V. V. *Fizicheskie svoistva i obrabotka pochv v Ukrainie*. [Physical properties of soils and tillage in Ukraine]. Khar'kov: Gorodskaia tipografiia, 2013. 224 p.
- Pochvozashchitnoe i resursoberegaiushchee zemledelie: teoriia i metodika issledovaniia*. [Soil conservation and resource agriculture: theory and methodology of research]. Ankara, 2015. 175 p.
- Tarasenko B. I. *Povyshenie plodorodiia pochv Kubani*. [Improving soil fertility Kuban]. Krasnodar: KubGAU, 2014. 130 p.
- Taskina V. M. *Agrofizicheskie svoistva vyshchelochennogo chernozema i ego biologicheskaiia aktivnost' v poliakh sevooborotov. Puti povysheniia urozhainosti sel'skokhoziaistvennykh kul'tur*. [Agrophysical properties of leached chernozem and its biological activity in the fields of crop rotations. Ways to improve crop yields]. Krasnoiarsk, 1970. pp. 57–66.
- Travnikova L. S., Sileva T. M., Ryzhova I. M., Artem'eva Z. S. *Mikroagregirovanie i ustoichivost' organicheskogo veshchestva chernozemov Privolzhskoi lesostepi*. [Microaggregation and stability of organic matter chernozems of forest-steppe of the Privolzhsky]. *Pochvovedenie*, 2006, no. 6, pp. 712–720.
- Khaidapova D. D., Pestonova E. A. *Izmenenie prochnosti pochvennykh agregatov v protsesse issusheniia*. [Change the strength of soil aggregates during desiccation]. *Materialy IV s"ezda Dokuchaevskogo obshchestva pochvedov*. [Proceedings of the IV Congress of the Dokuchaev Soil Science Society]. Novosibirsk, 9–14 avgusta 2004. Novosibirsk: Nauka-tsentr, 2004. 458 p.
- Chuprova V. V., Erokhina N. L. *Baza dannykh po plotnosti slozheniia pochv zemledel'cheskoi territorii Krasnoiarskogo kraia*. [Density database of agricultural soils of Krasnoyarsk Territory]. *Vestnik KrasGAU*, 1999, no. 5, pp. 84–92.
- Shein E. V. *Kurs fiziki pochv*. [Soil physics course]. Uchebnik. Moscow: Moscow University Publishing, 2005. 432 p.