

8. Osobennosti termicheskogo rezhima der-novo-podzolistoy pochvy v agrotsenoze tsvet-ochnykh kultur na territorii dendrariya goroda Barnaula / S. V. Makarychev, A. A. Tomarovskiy, L. A. Klementeva, T. V. Tikhonova // Vladimirskiy zemledelets. – 2024. – No. 3 (108). – S. 14-19.

9. Opredelenie profilnogo raspredeleniya temperatury pochvy na osnovanii temperatury ee pov-

erkhnosti / A. G. Bolotov, E. V. Shein, M. A. Mazirov, A. I. Martynov // Zemledelie. – 2018. – No. 7. – S. 26-29.

10. Vadyunina A. F. Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochvy / A. F. Vadyunina, Z. A. Korchagina. – Moskva: Agropromizdat, 1986. – 416 s.



УДК 631.432.26

DOI: 10.53083/1996-4277-2026-256-2-18-24

Ч.Г. Гюлалыев

Ch.G. Gulaliyev

РОЛЬ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНЫХ УСЛОВИЙ В ФОРМИРОВАНИИ ВОДОПРОЧНЫХ АГРЕГАТОВ БУРЫХ ГОРНО-ЛЕСНЫХ ПОЧВ

ROLE OF HYDROTHERMAL CONDITIONS IN THE FORMATION OF WATER-STABLE AGGREGATES IN BROWN MOUNTAIN FOREST SOILS

Ключевые слова: водопрочные агрегаты, бурые горно-лесные почвы, тепловлажностный режим, структурно-агрегатное состояние, температура почвы; влажность почвы; устойчивость почв.

Рассмотрены закономерности формирования и устойчивости водопрочных агрегатов горно-лесных почв в условиях изменяющегося тепловлажностного режима на примере Пиргульского биогеографического стационара Института географии Министерства науки и образования Азербайджанской Республики. Цель исследования заключалась в оценке влияния температуры и влажности на структурно-агрегатное состояние почв и их устойчивость к деградационным процессам. Объектом исследования являлись бурые горно-лесные почвы (Leptic Calcic Cambisols, Clayic). Работа выполнена на основе комплекса полевых и лабораторных исследований. Содержание водопрочных агрегатов размером более 0,25 мм определялось методом И.Н. Савинова. Для характеристики тепловлажностных условий использовались данные наземных метеорологических наблюдений, а также материалы глобального реанализа ERA5 Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF) с пространственным разрешением 0,25×0,25° и временным шагом 6 ч. Результаты исследования показали, что влажность и температура почвы характеризуются выраженной сезонной и вертикальной изменчивостью, оказывая существенное влияние на процессы агрегации и дезагрегации почвенных частиц. В верхних горизонтах почвы преобладают крупные и водопрочные агрегаты, обеспечивающие благоприятный водно-воздушный режим. С увеличением глубины отмечается снижение их доли,

что связано с уплотнением почвы и ослаблением биологической активности. Установлено, что повышение среднегодовой температуры сопровождается уменьшением содержания водопрочных агрегатов, тогда как оптимальный диапазон суммы активных температур (1000-2000°C) способствует максимальной устойчивости почвенной структуры. Экстремальные тепловые и влажностные условия негативно влияют на структурное состояние почв, повышая риск их деградации и эрозии. Полученные результаты имеют научное и практическое значение для оценки экологической устойчивости горно-лесных почв и разработки мер устойчивого землепользования в условиях климатических изменений.

Keywords: water-stable aggregate, brown mountain forest soils, hydrothermal regime, soil structural state, soil temperature, soil moisture, soil stability.

The patterns of formation and stability of water-stable aggregates in brown mountain forest soils under changing hydrothermal conditions are examined through the example of the Pirgulu Biogeographical Station of the Institute of Geography of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan. The research goal was to evaluate the influence of soil temperature and moisture on the structural and aggregate state of soils and their resistance to degradation processes. The research targets were brown mountain forest soils classified as Leptic Calcic Cambisols (Clayic). The research was based on a set of field and laboratory studies. The content of water-stable aggregates larger than 0.25 mm was determined using the method of I.N. Savinov. Thermo-moisture conditions were characterized using the data from ground-based meteorological observations

as well as the ERA5 global reanalysis dataset produced by the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) with a spatial resolution of $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ and a temporal resolution of 6 hours. The research findings showed that soil moisture and temperature exhibited pronounced seasonal and vertical variability which significantly affected aggregation and disaggregation processes. The upper soil horizons are characterized by a higher proportion of large and water-stable aggregates providing favorable water-air conditions. With increasing depth, the proportion of water-stable aggregates decreases due to soil compaction and

reduced biological activity. It was found that an increase in mean annual temperature led to a reduction of the content of water-stable aggregates, whereas an optimal range of accumulated active temperature ($1000-2000^\circ\text{C}$) promoted the maximum structural stability. Extreme thermal and moisture conditions negatively affect soil structure increasing the risk of soil degradation and erosion. The obtained results are of scientific and practical importance for evaluation of the ecological stability of mountain forest soils and development of sustainable soil management strategies under the conditions of climate change.

Гюлалыев Чингиз Гюлалы оглы, доктор аграрных наук, доцент, зав. отделом, Институт географии Министерства науки и образования Азербайджанской Республики, г. Баку, Азербайджанская Республика, e-mail: ch_gulaliyev@yahoo.com.

Gulaliyev Chingiz Gyulaly oglu, Dr. Agr. Sci., Assoc. Prof., Head of Division, Institute of Geography of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Baku, Republic of Azerbaijan, e-mail: ch_gulaliyev@yahoo.com.

Введение

Структурно-агрегатное состояние почвы является одним из ключевых показателей её физического плодородия и устойчивости, поскольку именно структура определяет водный, воздушный и тепловой режимы, интенсивность инфильтрации, устойчивость к эрозионным процессам и условия развития корневой системы растений. Количество водопрочных агрегатов в почве формируется под воздействием климатических условий, растительного покрова, рельефа, а также физико-химических свойств почвообразующих пород [1, 2]. Формирование почвенной структуры представляет собой сложный биофизико-химический процесс, в котором одновременно участвуют абиотические и биотические факторы, включая температуру, влажность, органическое вещество и деятельность почвенной биоты [2-4].

Наиболее устойчивые агрегаты формируются при длительном и устойчивом воздействии корневых выделений растений, гумусовых соединений и микроорганизмов, что особенно характерно для почв с повышенным содержанием органического вещества [5, 6]. Оценка структурно-агрегатного состояния почв основывается прежде всего на содержании агрегатов, устойчивых к механическому воздействию, а также водопрочных агрегатов, отражающих качество и стабильность структуры. Водопрочные агрегаты обеспечивают сопротивление разрушению при увлажнении, снижая поверхностный сток и интенсивность водной эрозии, а также оказывают прямое влияние на водопроницаемость, пори-

стость и водоудерживающую способность почвы [7, 8].

Распределение агрегатов по размеру играет важную роль в формировании оптимального водно-воздушного и питательного режимов почвы. Агрегаты диаметром от 0,25 до 10 мм относятся к агрономически ценным, так как создают благоприятные условия для роста корней, водопоглощения и газообмена [1, 6]. Нарушение структурно-агрегатного состояния приводит к изменению порового пространства, ухудшению водно-воздушного баланса, снижению биологической активности и трансформации органического вещества, что в конечном итоге отражается на продуктивности экосистем [5, 9].

Особую актуальность изучение водопрочных агрегатов приобретает в регионах с неустойчивыми климатическими условиями и интенсивным землепользованием, где структурная деградация почв усиливает развитие водозерозионных процессов. Водозерозионные явления тесно связаны с разрушением структуры поверхностных горизонтов, снижением содержания гумуса и уменьшением доли водопрочных агрегатов [10, 11]. Региональные исследования, выполненные на почвах агроландшафтов Алтайского края, показали, что изменение водного режима, способы обработки и антропогенная нагрузка существенно влияют на водоустойчивость агрегатов и водно-физические свойства почв, включая инфильтрацию и эрозионную устойчивость [12-14].

Формирование почвы и развитие её структуры происходят в результате длительных процессов почвообразования, в ходе которых под

воздействием тепла и влаги изменяются физические, химические и биологические свойства почвенного профиля [15, 16]. Современные исследования, опубликованные в ведущих международных журналах, показывают, что изменения температурного режима и увлажнения существенно влияют на процессы агрегации и дезагрегации почвенных частиц, устойчивость водопрочных агрегатов и общее состояние почвенного здоровья [14-17]. При этом как дефицит, так и избыток тепла и влаги могут приводить к снижению устойчивости структуры и усилению деградационных процессов.

Несмотря на значительное количество исследований, влияние тепловлажностных условий на формирование водопрочных агрегатов гумусно-карбонатных горно-лесных почв Южного Кавказа, в том числе Пиргульского региона Азербайджана, остаётся недостаточно изученным. Отсутствие регионально ориентированных данных затрудняет оценку устойчивости данных почв к эрозии и разработку научно обоснованных мер по сохранению их структурного состояния.

Цель исследования – оценить влияние тепловлажностных условий на формирование и устойчивость водопрочных агрегатов бурых горно-лесных почв Пиргульского биогеографического стационара.

Для достижения поставленной цели были определены следующие **задачи** исследования:

- проанализировать структурно-агрегатный состав бурых горно-лесных почв по профилю в воздушно-сухом и влажном состояниях;

- определить содержание водопрочных агрегатов и оценить устойчивость почвенной структуры;

- выявить зависимость количества водопрочных агрегатов от температурных показателей и условий увлажнения;

- оценить потенциальную эрозионную устойчивость почв в условиях изменяющегося гидротермического режима.

Результаты исследований и их обсуждение

Анализ тепловлажностного режима почвы и структурно-агрегатного состояния гумусно-карбонатных горно-лесных почв Пиргульского биогеографического стационара показал, что формирование и устойчивость водопрочных агрегатов находятся в тесной взаимосвязи с динамикой температуры и влажности почвенного профиля. Сравнительная временная динамика влажности почвы в слоях 0-7 и 7-28 см за 2022-2025 гг. свидетельствует о выраженной сезонной изменчивости водного режима (рис. 1). Поверхностный слой характеризуется высокой амплитудой колебаний влажности, что обусловлено прямым воздействием атмосферных осадков и интенсивного испарения. В подповерхностном слое (7-28 см) влажностный режим более стабилен, что отражает аккумуляционную функцию почвы и сглаживание кратковременных гидрометеорологических воздействий. Данная вертикальная дифференциация водного режима формирует неодинаковые условия для процессов агрегации и дезагрегации почвенных частиц.

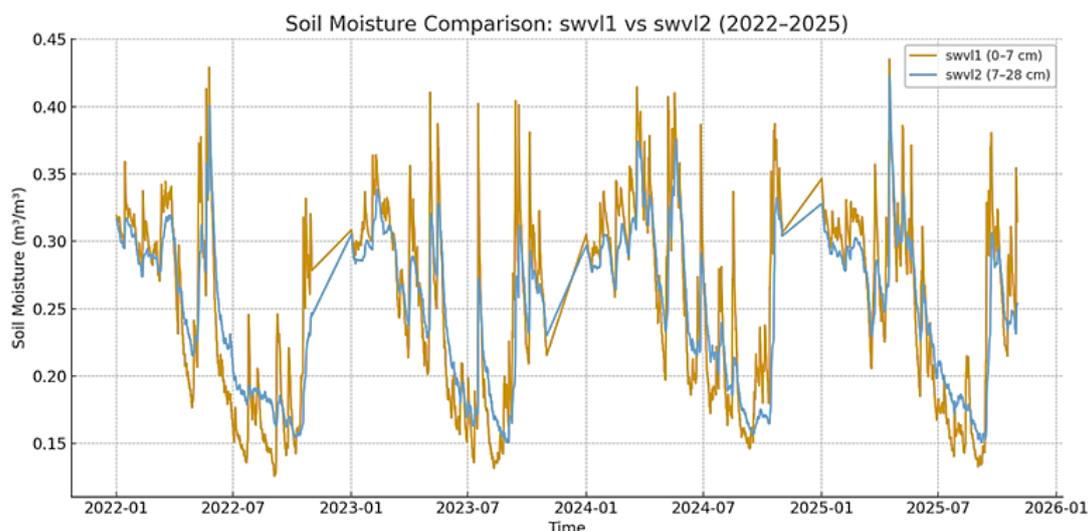


Рис. 1. Сравнительная временная динамика влажности почвы в слоях 0-7 и 7-28 см за 2022-2025 гг. (по данным ERA5, с временным шагом 6 ч)

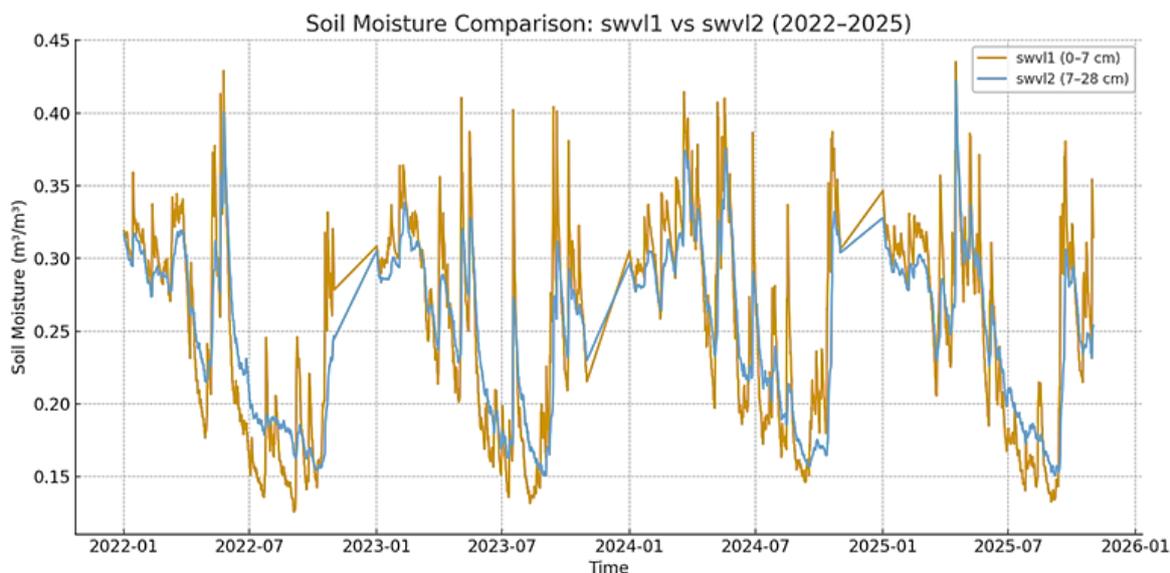


Рис. 2. Сравнительная временная динамика температуры почвы в слоях 0-7 и 7-28 см за 2022-2025 гг. (по данным ERA5, с временным шагом 6 ч)

Температурный режим почвы демонстрирует аналогичную закономерность: в слое 0-7 см отмечаются более резкие и экстремальные температурные колебания, тогда как в слое 7-28 см температурные изменения носят инерционный характер (рис. 2).

Совместный анализ рисунков 1 и 2 показывает, что поверхностный горизонт одновременно подвержен как резким изменениям влажности, так и значительным температурным колебаниям, что создаёт условия для периодического нарушения агрегатных связей. В более глубоких слоях сочетание сглаженного теплового и водного режимов способствует относительной стабилизации структурного состояния.

Эти закономерности находят отражение в распределении структурно-агрегатного состава

почвы по глубине (рис. 3). В верхних горизонтах (0-30 см), где сочетаются достаточное увлажнение и умеренные температурные условия в вегетационный период, преобладают крупные и водопрочные агрегаты, формирующие рыхлую структуру с благоприятными водно-воздушными свойствами. Начиная с глубины около 30 см наблюдается уменьшение доли крупных агрегатов и увеличение содержания мелких фракций (<0,25 мм), что связано с уплотнением почвы и снижением интенсивности биологических процессов. Таким образом, вертикальная изменчивость тепловлажностного режима напрямую определяет глубинную дифференциацию структурного состояния почвы.

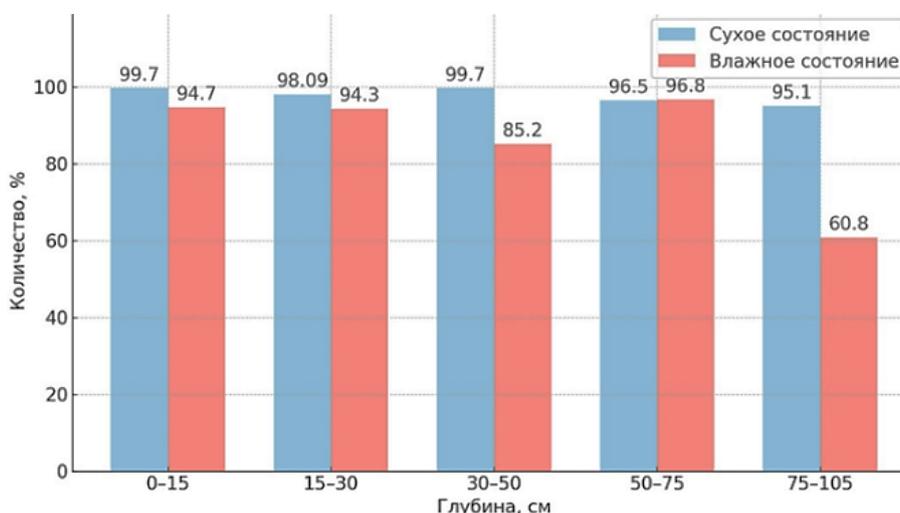


Рис. 3. Изменение структурно-агрегатного состава бурой горно-лесной почвы по глубине, %

Сопоставление структурного состава почвы в сухом и влажном состояниях показывает, что воздействие влаги приводит к частичному разрушению агрегатов, особенно в нижележащих горизонтах, где структура менее устойчива. В верхнем слое, несмотря на более выраженные гидротермические колебания, сохраняется относительно высокая устойчивость агрегатов, что обусловлено повышенным содержанием органического вещества и активностью корневых систем растений. Это свидетельствует о том, что устойчивость структуры определяется не только текущими условиями увлажнения, но и длительным воздействием биологических факторов.

Роль атмосферных осадков в формировании структуры почвы проявляется двояко. Умеренные осадки способствуют оптимальному увлажнению и укреплению агрегатных связей, тогда как интенсивные и продолжительные осадки вызывают переувлажнение, уплотнение и разрушение структуры. В сочетании с температурным режимом это приводит к изменению условий аэрации и водопроницаемости, что отражается на функционировании почвенной экосистемы в целом.

Связь между тепловым режимом и устойчивостью структуры наглядно прослеживается при анализе зависимости содержания водопрочных агрегатов от среднегодовой температуры (рис. 4). Установлено, что по мере повышения среднегодовой температуры доля водопрочных агрегатов постепенно снижается. Это указывает на ослабление структурной устойчивости при усилении теплового воздействия, что связано с ускорением процессов высыхания, разрушением связей между частицами и интенсификацией физико-механических процессов в почве.

Дополняя данный вывод, зависимость содержания водопрочных агрегатов от суммы активных температур (рис. 5) показывает наличие оптимального температурного интервала (1000-2000°C), при котором формируется максимальное количество устойчивых агрегатов. В этом диапазоне создаются наиболее благоприятные условия для сочетания биологической активности, увлажнения и термического режима. При дальнейшем увеличении суммы активных температур наблюдается снижение устойчивости агрегатов, что свидетельствует о переходе к условиям теплового стресса и деградации структуры.

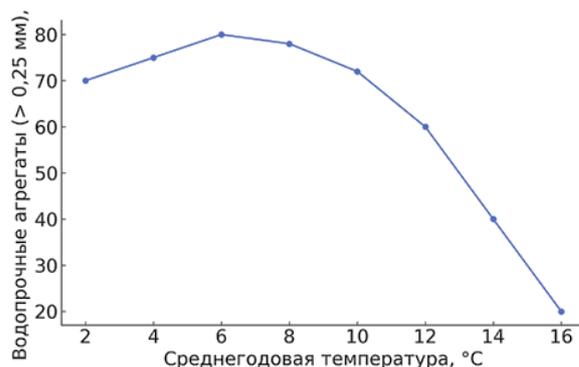


Рис. 4. Зависимость водопрочных агрегатов (> 0,25 мм) от среднегодовой температуры

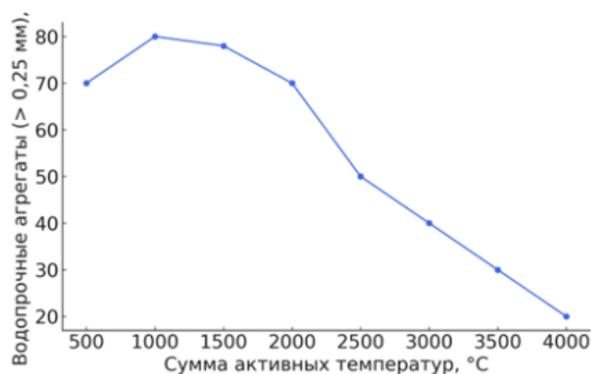


Рис. 5. Зависимость водопрочных агрегатов (> 0,25 мм) от суммы активных температур

Экстремально низкие и высокие температуры отрицательно влияют на структурное состояние почвы. Повторяющиеся циклы замерзания и оттаивания вызывают внутренние напряжения и разрушение агрегатов, тогда как при высоких температурах быстрое иссушение верхнего слоя ослабляет межчастичные связи. В совокупности это подтверждает, что именно тепловлажностный режим является одним из ключевых факторов, определяющих формирование, устойчивость и пространственную изменчивость водопрочных агрегатов в гумусно-карбонатных горно-лесных почвах.

Выводы

Установлено, что устойчивость водопрочных агрегатов бурых горно-лесных почв определяется тепловлажностным режимом почвенного профиля. Повышение среднегодовой температуры приводит к снижению содержания агрегатов (>0,25 мм), тогда как оптимальный диапазон суммы активных температур (1000-2000°C) способствует их максимальному формированию. Вертикальная дифференциация температуры и влажности обуславливает преобладание устойчивых агрегатов в верхних горизонтах и их сни-

жение в глубинных слоях. Экстремальные температурные и влажностные условия нарушают структурную устойчивость почвы, усиливая деградационные процессы.

Библиографический список

1. Структурно-агрегатный состав чернозема стокорегулирующей лесополосы Ростовской области / О. С. Безуглова, Э. А. Гаевая, С. Н. Горбов, А. В. Мищенко. – Текст: электронный // Развитие, современные приложения и перспективы: сборник материалов II Международной конференции, посвящённой 80-летию кафедры физики и мелиорации почв МГУ им. М. В. Ломоносова и 130-летию проф. Н. А. Качинского. – Москва, 2013. – С. 46-54. – ISBN 978-5-00247-069-3. – URL: https://pureportal.spbu.ru/files/126512006/_pdf (дата обращения: 15.03.2025).
2. Добровольский, Г. В. Структурно-функциональная роль почв и почвенной биоты в биосфере / Г. В. Добровольский. – Москва: Наука, 2003. – 364 с. – Текст: непосредственный.
3. Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., Denef, K. (2004). A History of Research on the Link Between (Micro) Aggregates, Soil Biota, and Soil Organic Matter Dynamics. *Soil and Tillage Research*. 79. 7-31. 10.1016/j.still.2004.03.008.
4. Lehmann, J., Bossio, D. A., Kögel-Knabner, I., Rillig, M. C. (2020). The concept and future prospects of soil health. *Nature Reviews. Earth & Environment*, 1 (10), 544–553. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8>.
5. Лисецкий Ф. Н. Изменение структурного состояния почв при различиях в почвенно-климатических условиях и истории землепользования / Ф. Н. Лисецкий, О. А. Маринина, М. Е. Родионова. – Текст: непосредственный // Известия Самарского научного центра РАН. – 2013. – Т. 15, № 3 (3). – С. 998-1002.
6. Устойчивость агрегатов пахотных почв: экспериментальное определение и нормативная характеристика / Д. А. Ушкова, У. А. Конкина, И. В. Горепекин [и др.]. – Текст: электронный // Почвоведение. – 2022. – № 2. – С. 203-210. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50404085> (дата обращения: 13.03.2025).
7. Влияние структуры почв на их гидрофизические свойства / И. И. Судницын, Ю. В. Егоров, А. В. Бобков, А. В. Криченко. – Текст: электронный // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. – 2014. – № 1. – С. 14-19. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-struktury-pochv-na-ih-gidrofizicheskie-svoystva> (дата обращения: 23.03.2025).
8. Blanco, H., Lal, R. (2004). Mechanisms of Carbon Sequestration in Soil Aggregates. *Critical Reviews in Plant Sciences. Crit Rev Plant Sci*. 23. 481-504. DOI: 10.1080/07352680490886842.
9. Bronick, C.J., Lal, R. (2005). Soil Structure and Management: A Review. *Geoderma*. 124. 3-22. DOI: 10.1016/j.geoderma.2004.03.005.
10. Власенко, А. Н. Возможности экологизации технологий в земледелии Сибири / А. Н. Власенко, Н. Г. Власенко. – Текст: непосредственный // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – Т. 29, № 9. – С. 21-24.
11. Водостойчивость макроструктуры дерново-подзолистой глееватой почвы при минимизации обработки / Р. Е. Казнин, С. В. Щукин, С. С. Сивкова, Б. А. Смирнов. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2012. – № 4 (90). – С. 24-28.
12. Влияние орошения на гранулометрию агропочв / Н. Ю. Боронина, П. А. Мякий, В. Л. Татарицев, Л. М. Татарицев. – Текст: электронный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – № 8 (166). – С. 52-58. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-orosheniya-na-granulometriyu-agropochv/viewer>.
13. Воронин, А. Д. Основы физики почв / А. Д. Воронин. – Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1986. – 244 с. – Текст: непосредственный.
14. Михайлова, Н. В. Водно-физические свойства почв в агроценозе сада Алтайского Приобья / Н. В. Михайлова, Н. И. Шевчук. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2012. – № 11 (97). – С. 38-40.
15. Ghezzehei, T.A. (2012) Soil Structure. In: Huang, P.M., Li, Y. and Sumner, M.E., Eds., *Handbook of Soil Sciences: Vol. 1 Properties and Processes*, 2nd Edition, CRC Press, Boca Raton, 1-17. https://www.researchgate.net/publication/285160921_Soil_Structure.
16. Warkentin, B. (2008). Soil Structure: A History from Tilt to Habitat. *Advances in Agronomy*. 97. 239-272. DOI: 10.1016/S0065-2113(07)00006-5.
17. Ghezzehei, T., Or, D. (2001). Rheological properties of wet soils and clays under steady and

oscillatory stresses, *Soil Science Society of America Journal*, 65 (3), 624-637, DOI: 10.2136/sssaj2001.653624x.

References

1. Bezuglova O. S., Gaevaya E. A., Gorbov S. N., Mishchenko A. V. Strukturno-agregatnyy sostav chernozema stokoreguliruyushchey lesopolosy Rostovskoy oblasti // *Razvitie, sovremennye prilozheniya i perspektivy: sb. materialov II Mezhdunar. konf., posvyashchenoy 80-letiyu kafedry fiziki i melioratsii pochv MGU im. M. V. Lomonosova i 130-letiyu prof. N. A. Kachinskogo*. Moskva, 2013. S. 46–54. URL: https://pureportal.spbu.ru/files/126512006/_pdf (data obrashcheniya: 15.03.2025).
2. Dobrovolskiy G. V. Strukturno-funktsionalnaya rol pochv i pochvennoy bioty v biosfere. Moskva: Nauka, 2003. 364 s.
3. Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., Deneff, K. (2004). A History of Research on the Link Between (Micro) Aggregates, Soil Biota, and Soil Organic Matter Dynamics. *Soil and Tillage Research*. 79. 7-31. 10.1016/j.still.2004.03.008.
4. Lehmann, J., Bossio, D. A., Kögel-Knabner, I., Rillig, M. C. (2020). The concept and future prospects of soil health. *Nature Reviews. Earth & Environment*, 1 (10), 544–553. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8>.
5. Lisetskiy F. N., Marinina O. A., Rodionova M. E. Izmenenie strukturnogo sostoyaniya pochv pri razlichnykh v pochvenno-klimaticheskikh usloviyakh i istorii zemlepolzovaniya // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2013. T. 15. No. 3 (3). S. 998–1002.
6. Ushkova D. A., Konkina U. A., Gorepekin I. V., Potapov D. I., Shein E. V., Fedotov G. N. Ustoychivost agregatov pakhotnykh pochv: eksperimentalnoe opredelenie i normativnaya kharakteristika // *Pochvovedenie*. 2022. No. 2. S. 203–210. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50404085> (data obrashcheniya: 13.03.2025).
7. Sudnitsyn I. I., Egorov Yu. V., Bobkov A. V., Krichenko A. V. Vliyanie struktury pochv na ikh gidrofizicheskie svoystva // *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17: Pochvovedenie*. 2014. No. 1. S. 14–19. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-struktury-pochv-na-ih-gidrofizicheskie-svoystva> (data obrashcheniya: 23.03.2025).
8. Blanco, H., Lal, R. (2004). Mechanisms of Carbon Sequestration in Soil Aggregates. *Critical Reviews in Plant Sciences. Crit Rev Plant Sci*. 23. 481-504. DOI: 10.1080/07352680490886842.
9. Bronick, C.J., Lal, R. (2005). Soil Structure and Management: A Review. *Geoderma*. 124. 3-22. DOI: 10.1016/j.geoderma.2004.03.005.
10. Vlasenko A.N., Vlasenko N.G. Vozmozhnosti ekologizatsii tekhnologiy v zemledelii Sibiri // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. – 2015. – T. 29. – No. 9. – S. 21-24.
11. Kaznin R.E. Vodoustoychivost makrostruktury dernovo-podzolistoy gleevatoy pochvy pri minimizatsii obrabotki / R. E. Kaznin, S. V. Shchukin, S. S. Sivkova, B. A. Smirnov // *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. – 2012. – No. 4 (90). – S. 24-28.
12. Boronina N. Yu. Vliyanie orosheniya na granulometriyu agropochv / N. Yu. Boronina, P. A. Myagkiy, V. L. Tatarintsev, L. M. Tatarintsev // *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. – 2018. – No. 8 (166). – S. 52-58.
13. Voronin A. D. Osnovy fiziki pochv. Moskva: Izd-vo Mosk. un-ta, 1986. 244 s.
14. Mikhaylova, N. V. Vodno-fizicheskie svoystva pochv v agrotsenoze sada Altayskogo Priobya / N. V. Mikhaylova, N. I. Shevchuk // *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. – 2012. – № 11 (97). – S. 38-40.
15. Ghezzehei, T.A. (2012) Soil Structure. In: Huang, P.M., Li, Y. and Sumner, M.E., Eds., *Handbook of Soil Sciences: Vol. 1 Properties and Processes*, 2nd Edition, CRC Press, Boca Raton, 1-17. https://www.researchgate.net/publication/285160921_Soil_Structure.
16. Warkentin, B. (2008). Soil Structure: A History from Tilth to Habitat. *Advances in Agronomy*. 97. 239-272. DOI: 10.1016/S0065-2113(07)00006-5.
17. Ghezzehei, T., Or, D. (2001). Rheological properties of wet soils and clays under steady and oscillatory stresses, *Soil Science Society of America Journal*, 65 (3), 624-637, DOI: 10.2136/sssaj2001.653624x.

