
ИЗУЧЕНИЕ И РЕАБИЛИТАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ

THE STUDY AND REHABILITATION OF ECOSYSTEMS

УДК 631.4.6(584.4)

ВЛИЯНИЕ КАТТАКУРГАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ И ПРОЦЕСС ГИДРОМОРФИЗМА

З. А. ЖАББАРОВ¹⁾, Т. АБДРАХМАНОВ¹⁾, Г. Т. ДЖАЛИЛОВА¹⁾, С. К. МАҲАММАДИЕВ¹⁾,
Ш. З. АБДУЛЛАЕВ¹⁾, О. Н. ИМОМОВ¹⁾, С. К. ЗАКИРОВА¹⁾, Д. Ю. МАХКАМОВА¹⁾, Ж. Ж. АБДУКАРИМОВ¹⁾

¹⁾Национальный университет Узбекистана им. Мирзо Улугбека,
ул. Университетская, 4, 100174, г. Ташкент, Узбекистан

В исследовании определено состояние гидроморфизма почв, расположенных вокруг Каттакурганского водохранилища. Установлено, что изменение морфологических признаков почвы, а также наличие болотных и глеевых горизонтов проявляется на разных расстояниях и в различных направлениях. Согласно результатам исследований, на восточной, южной и западной сторонах водохранилища гидроморфизм почв не наблюдается. Это связано с тем, что данные территории расположены на 60–68 м выше уровня моря по сравнению с северной частью и не используются в сельскохозяйственной деятельности. На северной стороне ситуация противоположная: земли находятся ниже уровня моря относительно южной, восточной и западной частей. Здесь расположены входной и выходной каналы водохранилища, а также коллекторно-дренажная система, работающая недостаточно эффективно. В результате происходит постоянное повышение уровня грунтовых вод (на глубине около 82 см), что способствует развитию процессов гидроморфизма. Влияние водохранилища на почвенный покров северной стороны выражено неравномерно: наибольшее поднятие грунтовых вод зафиксировано в северо-западной части – до 3–3,5 км от водохранилища. В северо-восточной зоне влияние распространяется до 2 км, а в северной – до 1,7 км.

Ключевые слова: почва; гидроморфизм; растительность; экологическое состояние; грунтовые воды; засоление; оглеение; гумус.

Благодарность. Настоящие исследования выполнены в рамках инновационного проекта № PL-9224094166 «Создание картографических моделей экологического и мелиоративного состояния почв, распространенных вокруг Каттакурганского водохранилища», финансируемого Агентством инновационного развития Республики Узбекистан. Выражаем благодарность Агентству и Национальному университету Узбекистана за оказанную поддержку.

Образец цитирования:

Жаббаров ЗА, Абдрахманов Т, Джалилова ГТ, Махаммадиев СК, Абдуллаев ШЗ, Имомов ОН, Закирова СК, Махкамова ДЮ, Абдукаримов ЖЖ. Влияние Каттакурганского водохранилища на почвенный покров и процесс гидроморфизма. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2025;3:4–20.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2025-3-4-20>

For citation:

Jabbarov ZA, Abdrakhmanov T, Jalilova GT, Mahammadiev SK, Abdullaev ShZ, Imomov ON, Zakirova SK, Makhkamova DJu, Abdukarimov JZh. Influence of the Kattakurgan reservoir on soil cover and hydromorphism process. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2025;3:4–20. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2025-3-4-20>

Авторы:

Зафаржон Абукаримович Жаббаров – доктор биологических наук, профессор; заведующий кафедрой почвоведения.

Гулнора Тулкуновна Джалилова – доктор биологических наук, профессор; профессор кафедры почвоведения.

Тохтасин Абдрахманов – кандидат сельскохозяйственных наук, профессор; профессор кафедры почвоведения.

Самад Киличевич Махаммадиев – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; доцент кафедры почвоведения.

Шохрух Зафаржон угли Абдуллаев – преподаватель кафедры почвоведения.

Отамурод Нормаматович Имомов – аспирант кафедры почвоведения.

Саломат Касимбаевна Закирова – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; доцент кафедры почвоведения.

Дилафруз Юлдашевна Махкамова – кандидат биологических наук, доцент; доцент кафедры почвоведения.

Жавохир Жaxonгир угли Абукаримов – студент.

Authors:

Zafarjon A. Jabbarov, doctor of science (biology), professor; head of the department of soil science.

zafarjonjabbarov@gmail.com

Gulnora T. Jalilova, doctor of science (biology), professor; professor at the department of soil science.

jalilova.gulnora.2024@gmail.com

Tokhtasin Abdrakhmanov, PhD (agriculture), professor; professor at the department of soil science.

soilecology@yandex.ru

Samad K. Makhmadiyev, PhD (agriculture), docent; associate professor at the department of soil science.

mahmadiyev3@gmail.com

Shokhruxh Z. ugli Abdullaev, lecturer at the department of soil science.

shoxabdullaev1996@gmail.com

Otamurod N. Imomov, postgraduate student at the department of soil science.

shoxabdullaev1996@gmail.com

Salomat K. Zakirova, PhD (agriculture), docent; associate professor at the department of soil science.

szzakirova@mail.com

Dilafruz Yu. Makhkamova, PhD (biology), docent; associate professor at the department of soil science.

d.makhkamova@nuu.uz

Javokhir Zh. ugli Abdukarimov, student.

javokhir2001@mail.ru

INFLUENCE OF THE KATTAKURGAN RESERVOIR ON SOIL COVER AND HYDROMORPHISM PROCESS

**Z. A. JABBAROV^a, T. ABDRAKHMANOV^a, G. T. JALILOVA^a, S. K. MAHAMMADIEV^a,
Sh. Z. ABDULLAEV^a, O. N. IMOMOV^a, S. K. ZAKIROVA^a, D. Ju. MAKHKAMOVA^a, J. Zh. ABDUKARIMOV^a**

^aNational University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek,

4 University Street, Tashkent 100174, Uzbekistan

Corresponding author: Z. A. Zhabbarov (*zafarjonjabbarov@gmail.com*)

The article determines the state of soil hydromorphism located around the Kattakurgan Reservoir. It is established that changes in the morphological characteristics of the soil, as well as the presence of bog and gley horizons are manifested at different distances and in different directions. According to the research results, soil hydromorphism is not observed on the eastern, southern and western sides of the reservoir. This is due to the fact that these territories are located 60–68 m above sea level compared to the northern part and are not used in agricultural activities. On the northern side, the situation is the opposite: the lands are below sea level relative to the southern, eastern and western parts. The inlet and outlet channels of the reservoir are located here, as well as the collector and drainage system, which does not work efficiently enough. As a result, there is a constant increase in the groundwater level (at a depth of about 82 cm), which contributes to the development of hydromorphism processes. The influence of the reservoir on the soil cover of the northern side is expressed unevenly: the greatest rise in groundwater is recorded in the northwestern part – up to 3–3.5 km from the reservoir. In the northeastern zone, the influence extends up to 2 km, and in the northern – up to 1.7 km.

Keywords: soil; hydromorphism; vegetation; ecological state; groundwater; salinization; gleization; humus.

Acknowledgments. This research was carried out within the framework of the innovative project No. IL-9224094166 «Creation of cartographic models of the ecological and meliorative state of soils distributed around the Kattakurgan reservoir», financed by the Agency for Innovative Development of the Republic of Uzbekistan. We express our gratitude to the Agency and the National University of Uzbekistan for the support provided.

Введение

Вокруг водохранилищ происходят изменения почвенного покрова (меняются его геоморфологические характеристики, усиливаются процессы гидроморфизма), что приводит к деградации почв. Степень этого

нарушения можно оценить по четырехбалльной шкале [1]. Исследования в районе водохранилища показали, что с течением времени процессы гидроморфизма усилились. Повысилось содержание таких элементов, как Ba, Co, V, Cu, Zn, Fe и Al. Отмечаются засоление почв, расширение площади луговой растительности, резкое изменение флоры и увеличение выделения газа CH_4 [2; 5; 11; 13]. Анализ изменений почв и растительного покрова с использованием индекса NDWI показал точность 97 %, что свидетельствует о высокой эффективности данного метода [3; 4; 6; 8–10].

В условиях постоянного воздействия водоемов в почвенном и растительном покрове происходят следующие гидрогенные изменения: проявление морфологических признаков гидроморфизма, загрязнение почвы, снижение содержания физической глины, увеличение площади оголенных пород и почвообразующих отложений, уменьшение содержания гумуса, резкое изменение растительного мира и др. [14].

В результате постоянного удержания влаги в почвенных горизонтах изменяются их свойства и снижается плодородие. В частности, почвы приобретают кислую-щелочную реакцию (pH от 5,6 до 9,1), обладают песчаной и суглинистой структурой, содержат среднее и высокое количество органического вещества (от 1,7 до 8,0 %) и общего азота (от 0,01 до 0,26 %). Наблюдается средняя и умеренная катионообменная способность (СЕС – от 3,13 до 15 смоль/кг) и высокий уровень базового насыщения (от 72 до 81 %). В обоих почвенных типах (камбисолах и ареносолах) основными катионами являются Ca^{2+} (от 0,7 до 25,7 смоль/кг) и Na^+ (от 0,19 до 9,5 смоль/кг), а содержание K^+ невелико. Кроме того, органическое вещество постепенно изменяется: из-за процессов разложения и оглеения его общее количество снижается [15; 16].

Под гидроморфизмом понимают совокупность морфогенетических изменений почвы, вызванных постоянным или периодическим переувлажнением, что приводит к формированию специфических морфологических признаков, физико-химических свойств и биогеохимических режимов [19]. Они включают смену окислительно-восстановительного потенциала (Eh) и водородного показателя среды (pH), разрушение почвенных агрегатов, миграцию соединений железа (Fe), марганца (Mn) и фосфора (P), высвобождение соединений азота (N) и растворенного органического углерода, изменения в составе почвенного микробного сообщества, а также ускоренную эрозию склонов в пределах зоны переменного уровня воды – прибрежной полосы, которая периодически оказывается затопленной или осушенной в зависимости от режима эксплуатации водохранилища [20].

Регулярное чередование фаз затопления и осушения, характерное для крупнейших мировых водохранилищ, вызывает снижение устойчивости структуры почвы и ускоренную минерализацию органического вещества [21; 22]. При этом колебания уровня воды усиливают вертикальную неоднородность почв по гипсометрии и способствуют развитию оползневых процессов. Результаты глобальных исследований подтверждают, что интенсивность гидроморфных процессов определяется как гидрологическим режимом, так и климатическими условиями. Работа [Qin, et al., 2025] на глобальном уровне подтвердила, что изменения зон колебаний уровня воды зависят от гидрологических и климатических факторов, что согласуется с природой явления гидроморфизма, регулируемого как водным режимом, так и температурно-влажностными условиями [23].

Кроме того, исследования на примере китайских водохранилищ подтвердили значимую зависимость деградации структуры почв от высотного положения. [Lv, et al., 2024] выявили, что устойчивость почвенных агрегатов значительно уменьшается в нижних и средних частях зоны колебаний уровня воды, тогда как на более высоких участках наблюдается повышение стабильности структуры [24]. Здесь можно отметить, что зависимость деградации структуры почв от высотного положения может отражать влияние *градиента увлажнения* внутри зоны колебаний: в нижних и средних частях переувлажнение и, соответственно, гидроморфные процессы наиболее интенсивны и вызывают деструкцию агрегатов. На более высоких участках условия менее гидроморфные, и почвенная структура оказывается более стабильной. При искусственном понижении уровня воды в водохранилищах происходит разрушение агрегатов и высвобождение подвижных форм азота, фосфора и микроэлементов – типичных признаков гидроморфизма. [Lewis, et al., 2024] изучали процессы, происходящие при искусственном понижении уровня воды в водохранилищах, и показали, что в периоды спуска наблюдается не только изменение физической структуры почвы, но и рост содержания подвижных форм питательных элементов, приводящий к их вымыванию в водоем [25]. Следует отметить, что высвобождение подвижных форм азота, фосфора и микроэлементов связано с разрушением почвенных агрегатов и изменением окислительно-восстановительных условий – типичным проявлением гидроморфизма, при котором активизируются процессы мобилизации элементов питания. Они сопровождаются перестройкой форм органического углерода: в фазу затопления часть углерода аккумулируется в анаэробных условиях, а при осушении быстро минерализуется с выделением CO_2 и CH_4 . [Ran, et al., 2024] подтвердили, что гидроморфизм в таких условиях сопровождается изменением форм органического углерода: часть его фиксируется в верхних горизонтах в результате анаэробного накопления, но при последующем осушении подвергается быстрой минерализации с выделением углекислого газа и метана [26].

Исследования [Sun, et al., 2024] также показали, что гидроморфизм проявляется в результате регулярного воздействия воды, сопровождающегося чередованием *анаэробных* (под водой) и *аэробных* (после осушения) условий, а такие циклы приводят к разрушению почвенных агрегатов, снижению среднего взвешенного диаметра, перераспределению органического углерода в сторону более лабильных фракций [27]. Чередование анаэробных и аэробных фаз при гидроморфизме перестраивает состав микробных сообществ, изменяя долю денитрифицирующих, метаногенных и нитрифицирующих групп. Это сопровождается сдвигами в ферментативной активности и скоростях трансформации органики и питательных элементов [28]. Важной особенностью является снижение устойчивости растворенного органического вещества при многократных переходах «вода – суша», что облегчает его минерализацию и вынос углерода в атмосферу. Новые данные для прибрежных зон водохранилища показывают хрупкость *растворенного органического вещества*: при многократных переходах «вода – суша» устойчивость его снижается, что облегчает минерализацию и поток углерода в воду и атмосферу [29]. При гидроморфизме, вызванном «антисезонным» регулированием уровня, происходит изменение соотношений органических и неорганических форм фосфора и азота. В фазу затопления фосфор переходит в подвижные формы, а азот – в аммонийную; в фазу осушки усиливается минерализация органических соединений и накапливаются нитратные формы. При повторном затоплении эти соединения выносятся в акваторию, повышая риск эвтрофикации [30]. Гидроморфизм формирует сезонную мозаичность эмиссий парниковых газов (CH_4 , CO_2 , N_2O). В затопленной фазе активизируется метаногенез, а при осушке – окисление метана, причем используются как кислород, так и альтернативные акцепторы электронов (нитраты, сульфаты, оксиды металлов) [31]. В Центральной Азии исследования фиксируют проявления так называемого «пульсирующего вторичного гидроморфизма» – кратковременные увлажнения и осушки, вызванные, например, подпиткой из заливов, изменяемые солевой профиль и состав растительности [32]. На примере Каттакурганского водохранилища установлено, что основное воздействие проявляется в накоплении солей и изменении физико-механических свойств почв, тогда как другие параметры трансформации выражены слабее [33]. Исследование Курвантаева (2021) показало усиление гидроморфизма на третьей террасе Зеравшана, обусловленное недостаточной дренированностью после создания водохранилища, что характеризуется появлением лугово-ирригационных почв и отмечается связь с затоплением и высоким уровнем грунтовых вод [34]. Таким образом, гидроморфизм в прибрежных зонах водохранилищ является многофакторным процессом, зависящим от гидрологического режима, климатических условий и особенностей эксплуатации гидротехнических сооружений. Его последствия затрагивают не только почвенные свойства, но и функционирование прибрежных экосистем, а также качество водных ресурсов. Понимание этих процессов критически важно для разработки стратегий устойчивого управления водохранилищами в условиях изменения климата и возрастающей антропогенной нагрузки.

Методы и материалы исследования

Исследования проводились на почвах, расположенных вокруг Каттакурганского водохранилища в Каттакурганском р-не Самаркандской обл. Узбекистана. Оно является первым в Узбекистане и относится к типу грунтовых, то есть его дно не забетонировано. Восточная, южная и западная стороны водоема находятся на высоте 514–588 м над уровнем моря и представлены богарными (неорошаемыми) землями. Северная сторона расположена на высоте 482–490 м над уровнем моря и представлена орошаемыми серо-луговыми почвами, используемыми в сельском хозяйстве. Почвенные образцы были отобраны на северной стороне, условно разделенной на три направления. Для сопоставления почвенные разрезы были заложены на восточной, южной и западной сторонах водохранилища, где также были собраны образцы (рис. 1).

При отборе почвенных образцов использовался международный стандарт ISO 10381-2:2002, а при описании морфологических признаков почвы в полевых условиях – ISO 25177:2020. При этом определялись следующие показатели: цвет почвы – по шкале *Munsell Soil Color Chart*; структура – по гранулометрическим формам; прочность структуры – слабая, средняя, плотная; влажность – влажная, сухая, липкость; признаки оглеения и засоления – наличие белых пятен, солевых выделений, ржавых пятен; количество корней – много, среднее, мало; тип материнской породы – песок, лесс, глина и др. [17; 18].

Результаты исследования и их обсуждение

В орошаемых землях Каттакурганского водохранилища, вовлеченных в сельское хозяйство, были выкопаны почвенные разрезы и изучен процесс гидроморфизма, исследованы изменения морфологических признаков. Ниже приводится анализ морфологических признаков почвенных разрезов.

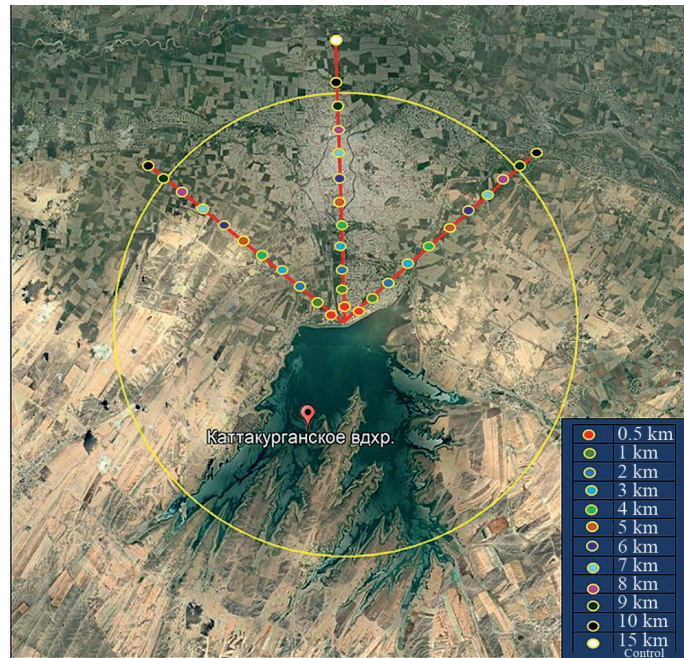


Рис. 1. Схема расположения почвенных образцов, отобранных в районе исследования

Fig. 1. Schematic diagram of the location of soil samples collected in the study area

Орошаемые сероземно-луговые почвы, 490 м над уровнем моря. Данный разрез выкопан в северо-западном направлении от Каттакурганского водохранилища на расстоянии 0,4 км. Ранее на этой территории выращивались пшеница и кукуруза, под влиянием водохранилища и постоянного воздействия влаги земли вышли из состояния земледелия и были заняты растениями, произрастающими во влажных условиях, в частности тростником, который покрыл участок. Грунтовые воды вышли на глубину 78 см (рис. 2).

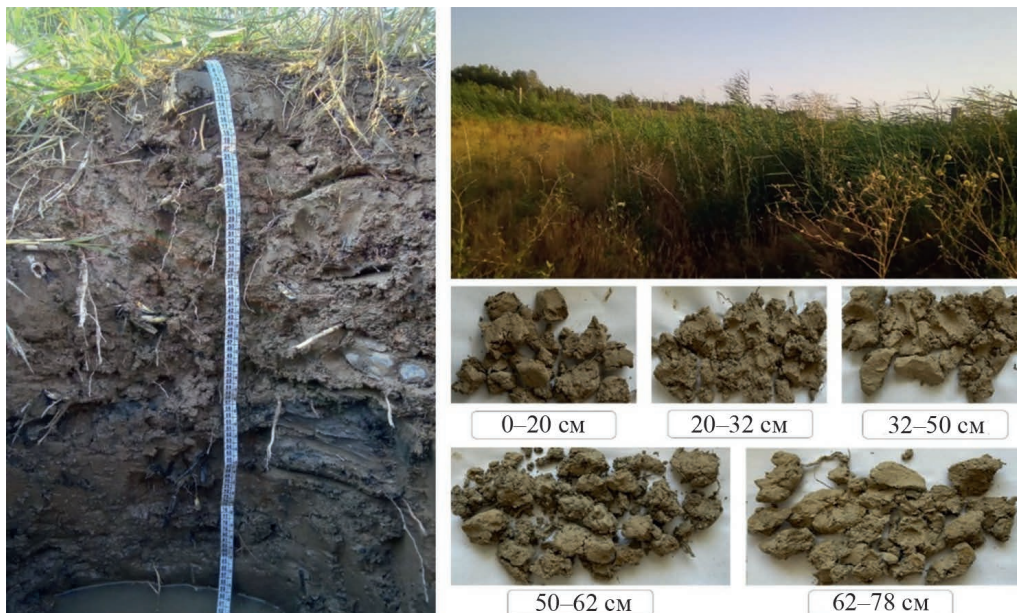


Рис. 2. Морфологические признаки разреза Sh.G'-2025-1 в северо-западном направлении Каттакурганского водохранилища

Fig. 2. Morphological features of the section Sh.G'-2025-1 in the north-western direction of the Kattakurgan reservoir

0–20 см. Цвет желтовато-полевой; среднеувлажненный; механический состав – среднесуглинистый; среднеуплотненный; структура комковатая. Встречаются корни растений и следы насекомых, а также перегнившие и полуперегнившие растительные остатки. В горизонте имеются ржавые и синеватые пятна в небольшом количестве, к нижней части их количество увеличивается. Переход к следующему горизонту по изменению влажности и структуры.

20–32 см. Цвет желтый полевой; механический состав – среднесуглинистый; сильно увлажненный; среднеуплотненный; к низу плотность увеличивается; структура мелкокомковатая, пластинчатая. В горизонте встречаются ржавые, синеватые и белые солевые пятна. Корни растений и следы насекомых встречаются редко. Переход к следующему горизонту по изменению цвета и механического состава.

32–50 см. Цвет светло-желтый; механический состав – легкосуглинистый; сильно увлажненный; сильно уплотненный; структура пластинчатая и комковатая. Синеватые пятна встречаются редко, корни растений и следы насекомых встречаются редко. В горизонте имеются мелкие остроугольные камни. Переход к следующему горизонту по изменению цвета.

50–62 см. Цвет голубовато-серый; сильно увлажненный. Механический состав – среднесуглинистый; встречаются тяжелые механические включения; сильно уплотненный, структура пластинчатая. Ржавые пятна встречаются в большом количестве. Корни растений встречаются редко, следы насекомых отсутствуют. Переход к следующему горизонту по изменению плотности.

62–78 см. Цвет голубовато-серый, сильно увлажненный. Механический состав – среднесуглинистый, встречаются тяжелые механические включения. Сильно уплотненный, структура пластинчатая. Ржавые и синеватые пятна встречаются в большом количестве. Корни растений встречаются редко, следы насекомых отсутствуют. На глубине 78 см выявлен уровень грунтовых вод.

Разрез 2, северное направление. Орошаемые сероземно-луговые почвы, 495 м над уровнем моря. Средний механический состав, слабое засоление. Разрез заложен в северном направлении на расстоянии 0,4 км от Каттакурганского водохранилища. На данной территории недавно был заново выкопан коллекторно-дренажный канал, работающий достаточно эффективно и приведший к снижению уровня грунтовых вод (по словам руководителя фермерского хозяйства, до прокладки дренажа грунтовые воды выходили с глубины 0,8–1 м). В целом, разрез был заложен на участке, засеянном люцерной, однако вокруг территорию в значительной степени покрывает тростник. В процессе раскопки разреза уровень грунтовых вод был выявлен на глубине 120 см (рис. 3).

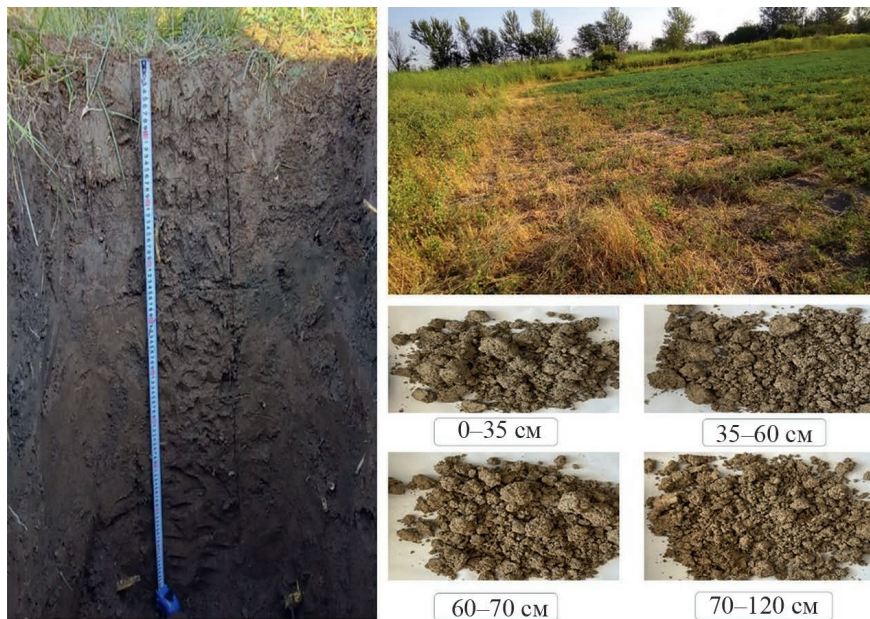


Рис. 3. Морфологические признаки разреза 2 в северном направлении Каттакурганского водохранилища

Fig. 3. Morphological features of section 2 in the northern direction of the Kattakurgan reservoir

0–35 см. Цвет светло-серый; к низу светлеет, среднеувлажненный. Механический состав – среднесуглинистый; структура комковатая; пластинчатая; слабо уплотненный. Много корней растений и следов насекомых. Встречаются перегнившие и полуперегнившие растительные остатки. В горизонте имеются белые солевые пятна в небольшом количестве, к низу их становится больше. Небольшое количество мелких камней. Переход к следующему горизонту по изменению влажности.

35–60 см. Светло-серый цвет, светлее по сравнению с верхним горизонтом. Механический состав – среднесуглинистый; умеренно увлажненный; слабо уплотненный, к низу уплотнение усиливается; структура мелкокомковатая, пластинчатая. Белые солевые пятна встречаются, их количество несколь-

ко больше, чем в верхнем горизонте. Имеются корни растений и следы насекомых. Очень небольшое количество мелких камней. Переход к следующему горизонту по изменению окраски.

60–70 см. Светло-бурый цвет. Механический состав – среднесуглинистый; сильно увлажненный; среднеуплотненный, плотность выше по сравнению с вышележащим горизонтом; структура пластинчатая и комковатая. Ржавые, синеватые и белые солевые пятна встречаются редко. Корни растений и следы насекомых встречаются редко. Переход к следующему горизонту по изменению окраски.

70–120 см. Цвет бурый, окраска более насыщенная по сравнению с вышележащим горизонтом; сильно увлажненный. Механический состав – среднесуглинистый; среднеуплотненный; структура пластинчатая, комковатая и зернистая. Ржавые, синеватые и белые солевые пятна встречаются чаще, чем в вышележащем горизонте. Корни растений встречаются редко, следы насекомых отсутствуют. На глубине 120 см выявлен уровень грунтовых вод.

Северо-восточная сторона, разрез 3. Орошаемые типичные сероземы, 495 м над уровнем моря. Средний механический состав; незасоленные. Разрез заложен в северо-восточном направлении на расстоянии 0,4 км от Каттакурганского водохранилища. Территория занята многолетними садами, где посажены персиковые и абрикосовые деревья, между деревьями выращиваются пшеница и люцерна (рис. 4).



Рис. 4. Морфологические признаки разреза 3 в северо-восточном направлении Каттакурганского водохранилища

Fig. 4. Morphological features of section 3 in the north-eastern direction of the Kattakurgan reservoir

0–21 см. Цвет темно-желтовато-полевой; среднеувлажненный. Механический состав – среднесуглинистый; структура комковатая, пылеватая; слабо уплотненный. Много корней растений и следов насекомых. Встречаются перегнившие и полуперегнившие растительные остатки. Присутствуют остроугольные мелкие щепнистые камни. Переход к следующему горизонту по изменению окраски.

21–57 см. Желтовато-полевой, светлее по сравнению с верхним горизонтом. Механический состав – среднесуглинистый; умеренно увлажненный; среднеуплотненный, к низу плотность снижается; структура мелкокомковатая, пылеватая. Корни растений и следы насекомых встречаются редко. Присутствуют остроугольные мелкие щепнистые камни. Переход к следующему горизонту по изменению плотности.

57–112 см. Желтовато-полевой цвет. Механический состав – среднесуглинистый; умеренно увлажненный; слабо уплотненный; структура мелкокомковатая, пылеватая. Встречаются конкреции и белые солевые пятна, к низу их количество увеличивается. Корни растений и следы насекомых встречаются редко. В горизонте имеются остроугольные мелкие камни. Переход к следующему горизонту по изменению влажности.

112–165 см. Желтовато-полевой цвет с бурым оттенком; умеренно увлажненный, по сравнению с вышележащим горизонтом несколько больше. Механический состав – среднесуглинистый; слабо уплотненный; структура мелкокомковатая, пылеватая. Корни растений встречаются редко, следы насекомых отсутствуют. Встречаются конкреции и белые солевые пятна.

Восточная сторона, разрез 4. Богарные типичные сероземы, в результате хозяйственной деятельности территория превращена в сад с плодовыми саженцами посредством искусственного орошения, 588 м над уровнем моря. Средний механический состав, незасоленные. Разрез заложен в северо-восточном направлении на расстоянии 5 км от Каттакурганского водохранилища. Территория занята многолетним садом, где выращиваются персиковые и абрикосовые деревья, между деревьями посеяны пшеница и люцерна (рис. 5).

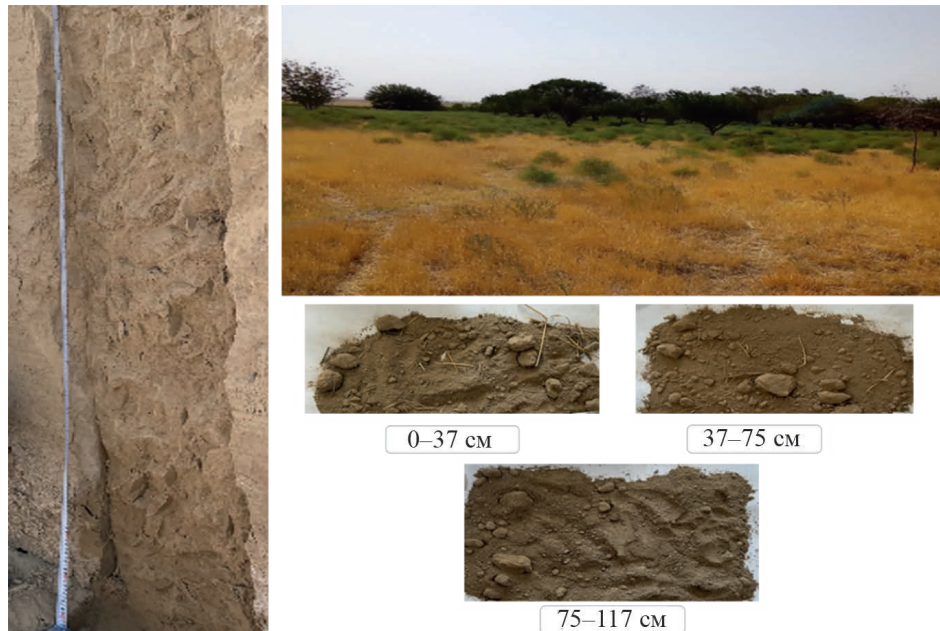


Рис. 5. Морфологические признаки разреза 4 в восточном направлении Каттакурганского водохранилища

Fig. 5. Morphological features of section 4 in the eastern direction of the Kattakurgan reservoir

0–37 см. Серый цвет; сухой. Механический состав – среднесуглинистый; структура комковатая; среднеуплотненный. Много корней растений, встречаются следы насекомых. Является дерновым горизонтом.

37–75 см. Серый цвет; слабо увлажненный. Механический состав – среднесуглинистый; слабо уплотненный. Корни растений встречаются редко, следы насекомых единичные. Новообразований и включений не обнаружено.

75–117 см. Светло-серый цвет; слабо увлажненный; среднесуглинистый; слабо уплотненный. Корни растений встречаются редко, следы насекомых – очень редко. Присутствуют карбонатные пленки и конкреции в виде белых пятен. Ниже начинается материнская порода, поэтому в данном горизонте отчетливо выражены признаки лёсса.

Южная сторона, разрез 5. Богарные типичные сероземы, расположенные на расстоянии 3 км от водохранилища, на высоте 519 м над уровнем моря. Местность имеет неровный рельеф. Произрастают различные виды дикой растительности, частично засохшей. Поверхностный слой почвы очень сухой. Влияние водохранилища на растительный покров и морфологические признаки почвы не проявляется (рис. 6).

0–53 см. Серый цвет. Механический состав – плотный, пылеватый, мелкоструктурный, легкосуглинистый. Корни растений встречаются редко, образуют слабую дернину; следы насекомых встречаются редко. Переход к следующему горизонту выраженный.

53–94 см. Серый цвет, отчетливо проявляются признаки образования в лёссе. Механический состав – плотный, мелкоструктурный, слабо пористый; среднесуглинистый. Корни растений встречаются редко, следы насекомых также редки. Карбонаты встречаются в различных формах. Ниже проявляется материнская порода – лёсс.

Западная сторона, разрез 5. Богарные типичные сероземы, расположенные на расстоянии 3 км от водохранилища, на высоте 514 м над уровнем моря. Местность имеет неровный рельеф. Посадки сельскохозяйственных культур отсутствуют; наблюдается высокий уровень проективного покрытия различными видами растительности. Поверхностный слой почвы очень сухой. Влияние водохранилища на растительный покров и морфологические признаки почвы не проявляется (рис. 7).

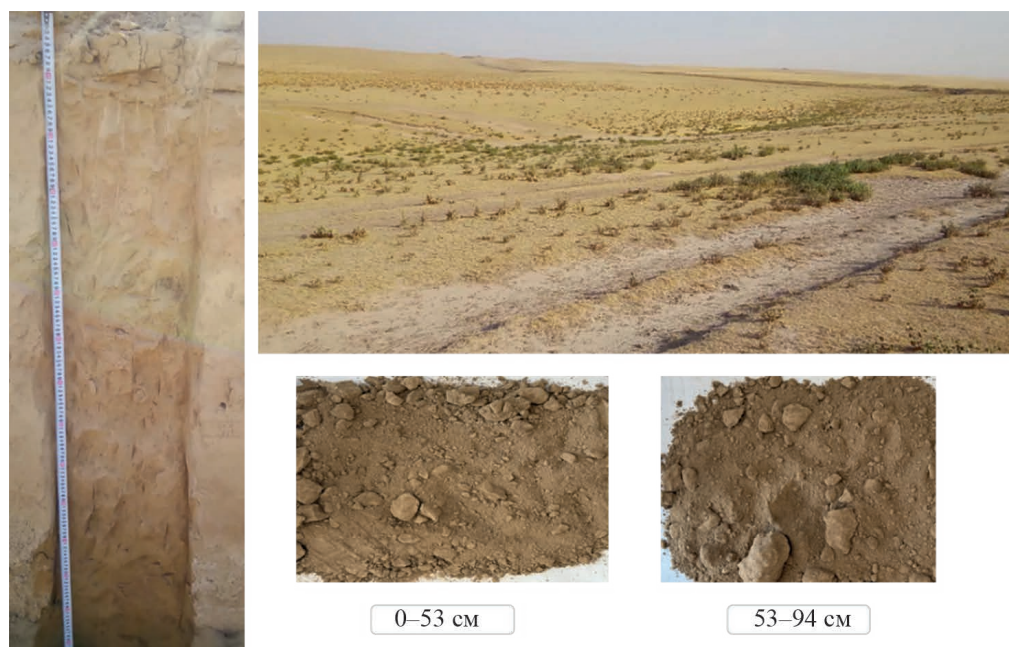


Рис. 6. Морфологические признаки разреза 5 в южном направлении Каттакурганского водохранилища

Fig. 6. Morphological features of section 5 in the southern direction of the Kattakurgan reservoir

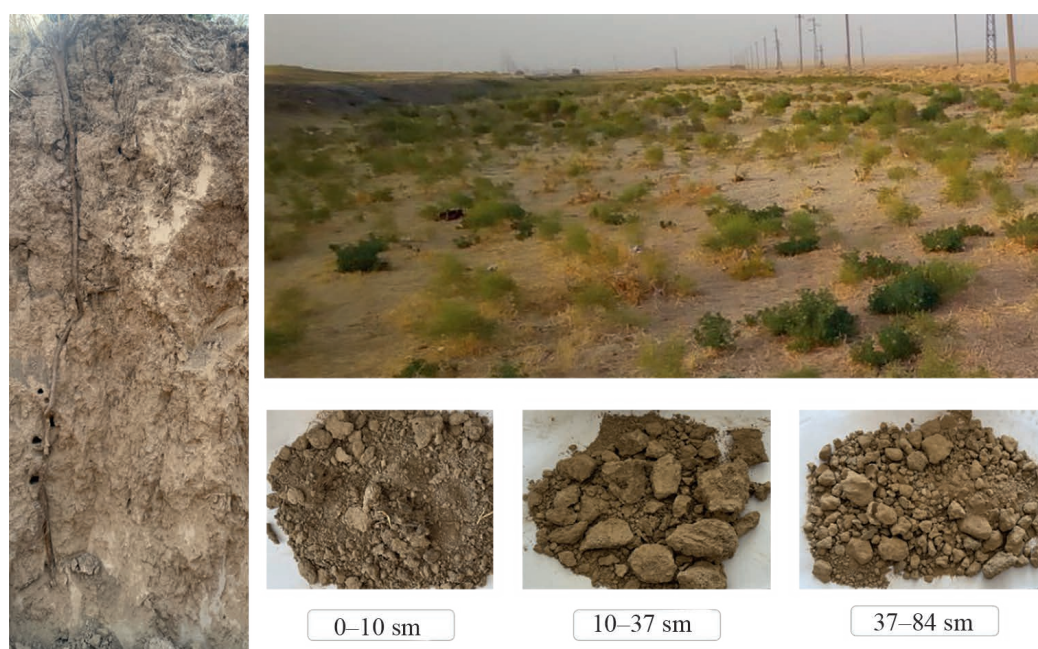


Рис. 7. Морфологические признаки разреза 5 в западном направлении Каттакурганского водохранилища

Fig. 7. Morphological features of section 5 in the western direction of the Kattakurgan reservoir

Из приведенных выше исследований следует, что почвы вокруг водохранилища подверглись различным воздействиям, при этом изменения ее морфологических признаков и растительного покрова в большей степени наблюдаются на северной стороне.

В ходе работ в полевых условиях были изучены факторы, способствующие формированию процесса гидроморфизма в почвенном покрове вокруг Каттакурганского водохранилища (табл.).

Причины проявления гидроморфизма почв вокруг Каттакурганского водохранилища

Reasons for the manifestation of soil hydromorphism around the Kattakurgan reservoir

Тип гидроморфизма	Условия гидроморфизма	Механизм проявления	Причины проявления процесса гидроморфизма
В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЗОНЕ			
Естественный	Климатические условия	Большое количество осадков (поступление влаги в почву превышает испарение)	Не наблюдается
		Длительное удерживание дождевых вод в почвенных горизонтах	Не наблюдается
		Кратковременные, но интенсивные ливни	Не наблюдается
	Высокий уровень грунтовых вод	Близкое залегание грунтовых вод к поверхности	Наблюдается на территории до 3 км
		Ускорение окислительно-восстановительных реакций в грунтовых водах, формирование глеевых почв	Наблюдается на территории до 3 км
		Перемещение оксидов железа и марганца, дефицит кислорода и длительное разложение органических веществ	Наблюдается на территории до 3 км
	Геоморфологические особенности (рельеф)	В понижениях, долинах, болотах, вблизи водохранилищ и озер происходит скопление воды и процесс гидроморфизма выражен сильнее	Наблюдается
		В рельефах с низинами и плохо сформированной дренажной системой	Наблюдается отчетливо
	Сточный режим и дренажная система	Естественная слабость водного стока	Наблюдается
		Отсутствие или недостаточная работа дренажных систем	Наблюдается
		В поймах рек и вокруг озер наблюдаются периодические затопления	Не наблюдается
	Растительный покров и транспирация	При сильных осадках растения не успевают быстро испарять влагу	Не наблюдается
		Влияние влаголюбивых растений (например, тростника), снижающих содержание кислорода в почве	Наблюдается на территории до 2 км
		Чрезмерное использование воды в сельском хозяйстве приводит к накоплению избыточной влаги и заболачиванию	Не наблюдается
Антропогенные причины, связанные с деятельностью человека	Неправильное орошение и ирригация	Несоответствующая система орошения	Не наблюдается
		Длительное накопление воды	Не наблюдается
	Недостаточность дренажной системы	Недостаточное внедрение дренажной системы	Встречается в некоторых местах
		Строительство и урбанизация	Снижение уровня транспирации в результате массовой вырубki деревьев
	Заболачивание и засоление земель	Строительство дорог, зданий и промышленных предприятий	Не наблюдается
Засоление и заболачивание почв вследствие неправильного управления оросительными водами		Не наблюдается	
Естественный	Климатические условия	Большое количество осадков (поступление влаги в почву превышает испарение)	Не наблюдается
		Длительное удерживание дождевых вод в почвенных горизонтах	Не наблюдается
		Кратковременные, но интенсивные ливни	Не наблюдается

Продолжение табл.

Continue table

Тип гидроморфизма	Условия гидроморфизма	Механизм проявления	Причины проявления процесса гидроморфизма
В СЕВЕРНОЙ ЗОНЕ			
Естественный	Высокий уровень грунтовых вод	Близкое залегание грунтовых вод к поверхности	Наблюдается на территории до 2 км
		Ускорение окислительно-восстановительных реакций в грунтовых водах, формирование глеевых почв	Наблюдается на территории до 2 км
		Перемещение оксидов железа и марганца, дефицит кислорода и длительное разложение органических веществ	Наблюдается на территории до 2 км
	Геоморфологические особенности (рельеф)	В понижениях, долинах, болотах, вблизи водохранилищ и озер происходит скопление воды и процесс гидроморфизма выражен сильнее	Наблюдается
		В рельефах с низинами и плохо сформированной дренажной системой	Наблюдается
	Сточный режим и дренажная система	Естественная слабость водного стока	Наблюдается
		Отсутствие или недостаточная работа дренажных систем	Наблюдается
		В поймах рек и вокруг озер наблюдаются периодические затопления	Не наблюдается
		При сильных осадках растения не успевают быстро испарять влагу	Не наблюдается
	Растительный покров и транспирация	Влияние влаголюбивых растений (например, тростника), снижающих содержание кислорода в почве	Наблюдается на территории до 1,5 км
		Чрезмерное использование воды в сельском хозяйстве приводит к накоплению избыточной влаги и заболачиванию	Не наблюдается
	Антропогенные причины, связанные с деятельностью человека	Неправильное орошение и ирригация	Несоответствующая система орошения
Длительное накопление воды			Не наблюдается
Недостаточность дренажной системы		Недостаточное внедрение дренажной системы	Встречается в некоторых местах
Строительство и урбанизация		Снижение уровня транспирации в результате массовой вырубки деревьев	Не наблюдается
		Строительство дорог, зданий и промышленных предприятий	Не наблюдается
Заболачивание и засоление земель		Засоление и заболачивание почв вследствие неправильного управления оросительными водами	Не наблюдается
В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЗОНЕ			
Естественный	Климатические условия	Большое количество осадков (поступление влаги в почву превышает испарение)	Не наблюдается
		Длительное удерживание дождевых вод в почвенных горизонтах	Не наблюдается
		Кратковременные, но интенсивные ливни	Не наблюдается
	Высокий уровень грунтовых вод	Близкое залегание грунтовых вод к поверхности	Наблюдается на территории до 0,8 км
		Ускорение окислительно-восстановительных реакций в грунтовых водах, формирование глеевых почв	Наблюдается на территории до 0,8 км
		Перемещение оксидов железа и марганца, дефицит кислорода и длительное разложение органических веществ	Наблюдается на территории до 0,8 км

Продолжение табл.

Continue table

Тип гидроморфизма	Условия гидроморфизма	Механизм проявления	Причины проявления процесса гидроморфизма
Естественный	Геоморфологические особенности (рельеф)	В понижениях, долинах, болотах, вблизи водохранилищ и озер происходит скопление воды и процесс гидроморфизма выражен сильнее	Наблюдается на территории до 0,8 км
		В рельефах с низинами и плохо сформированной дренажной системой	Не наблюдается
	Сточный режим и дренажная система	Естественная слабость водного стока.	Наблюдается
		Отсутствие или недостаточная работа дренажных систем	Наблюдается
		В поймах рек и вокруг озер наблюдаются периодические затопления	Не наблюдается
		При сильных осадках растения не успевают быстро испарять влагу	Не наблюдается
	Растительный покров и транспирация	Влияние влаголюбивых растений (например, тростника), снижающих содержание кислорода в почве	Наблюдается на территории до 2 км
		Чрезмерное использование воды в сельском хозяйстве приводит к накоплению избыточной влаги и заболачиванию	Не наблюдается
Антропогенные причины, связанные с деятельностью человека	Неправильное орошение и ирригация	Несоответствующая система орошения	Не наблюдается
		Длительное накопление воды	Не наблюдается
	Недостаточность дренажной системы	Недостаточное внедрение дренажной системы	Встречается в некоторых местах
	Строительство и урбанизация	Снижение уровня транспирации в результате массовой вырубки деревьев	Не наблюдается
		Строительство дорог, зданий и промышленных предприятий	Не наблюдается
	Заболачивание и засоление земель	Засоление и заболачивание почв вследствие неправильного управления оросительными водами	Не наблюдается
В ВОСТОЧНОЙ ЗОНЕ			
Естественный	Климатические условия	Большое количество осадков (поступление влаги в почву превышает испарение)	Не наблюдается
		Длительное удерживание дождевых вод в почвенных горизонтах	Не наблюдается
		Кратковременные, но интенсивные ливни	Не наблюдается
	Высокий уровень грунтовых вод	Близкое залегание грунтовых вод к поверхности	Не наблюдается
		Ускорение окислительно-восстановительных реакций в грунтовых водах, формирование глеевых почв	Не наблюдается
		Перемещение оксидов железа и марганца, дефицит кислорода и длительное разложение органических веществ	Не наблюдается
	Геоморфологические особенности (рельеф)	В понижениях, долинах, болотах, вблизи водохранилищ и озер происходит скопление воды и процесс гидроморфизма выражен сильнее	Не наблюдается
		В рельефах с низинами и плохо сформированной дренажной системой	Не наблюдается
	Сточный режим и дренажная система	Естественная слабость водного стока	Не наблюдается
		Отсутствие или недостаточная работа дренажных систем	Не наблюдается
		В поймах рек и вокруг озер наблюдаются периодические затопления	Не наблюдается
		При сильных осадках растения не успевают быстро испарять влагу	Не наблюдается
	Растительный покров и транспирация	Влияние влаголюбивых растений (например, тростника), снижающих содержание кислорода в почве	Не наблюдается
		Чрезмерное использование воды в сельском хозяйстве приводит к накоплению избыточной влаги и заболачиванию	Не наблюдается

Продолжение табл.

Continue table

Тип гидроморфизма	Условия гидроморфизма	Механизм проявления	Причины проявления процесса гидроморфизма
Антропогенные причины, связанные с деятельностью человека	Неправильное орошение и ирригация	Несоответствующая система орошения	Не наблюдается
		Длительное накопление воды	Не наблюдается
	Недостаточность дренажной системы	Недостаточное внедрение дренажной системы	Богарные земли
	Строительство и урбанизация	Снижение уровня транспирации в результате массовой вырубки деревьев	Не наблюдается
		Строительство дорог, зданий и промышленных предприятий	Не наблюдается
Заболачивание и засоление земель	Засоление и заболачивание почв вследствие неправильного управления оросительными водами	Богарные земли	
В ЮЖНОЙ ЗОНЕ			
Естественный	Климатические условия	Большое количество осадков (поступление влаги в почву превышает испарение)	Не наблюдается
		Длительное удерживание дождевых вод в почвенных горизонтах	Не наблюдается
		Кратковременные, но интенсивные ливни	Не наблюдается
	Высокий уровень грунтовых вод	Близкое залегание грунтовых вод к поверхности	Не наблюдается
		Ускорение окислительно-восстановительных реакций в грунтовых водах, формирование глеевых почв	Не наблюдается
		Перемещение оксидов железа и марганца, дефицит кислорода и длительное разложение органических веществ	Не наблюдается
	Геоморфологические особенности (рельеф)	В понижениях, долинах, болотах, вблизи водохранилищ и озер происходит скопление воды и процесс гидроморфизма выражен сильнее	Не наблюдается
		В рельефах с низинами и плохо сформированной дренажной системой	Не наблюдается
	Сточный режим и дренажная система	Естественная слабость водного стока	Не наблюдается
		Отсутствие или недостаточная работа дренажных систем	Не наблюдается
		В поймах рек и вокруг озер наблюдаются периодические затопления	Не наблюдается
		При сильных осадках растения не успевают быстро испарять влагу	Не наблюдается
	Растительный покров и транспирация	Влияние влаголюбивых растений (например, тростника), снижающих содержание кислорода в почве	Не наблюдается
		Чрезмерное использование воды в сельском хозяйстве приводит к накоплению избыточной влаги и заболачиванию	Не наблюдается
	Антропогенные причины, связанные с деятельностью человека	Неправильное орошение и ирригация	Несоответствующая система орошения
Длительное накопление воды			Не наблюдается
Недостаточность дренажной системы		Недостаточное внедрение дренажной системы	Богарные земли
Строительство и урбанизация		Снижение уровня транспирации в результате массовой вырубки деревьев	Не наблюдается
		Строительство дорог, зданий и промышленных предприятий	Не наблюдается
Заболачивание и засоление земель	Засоление и заболачивание почв вследствие неправильного управления оросительными водами	Не наблюдается	
В ЗАПАДНОЙ ЗОНЕ			
Естественный	Климатические условия	Большое количество осадков (поступление влаги в почву превышает испарение)	Не наблюдается
		Длительное удерживание дождевых вод в почвенных горизонтах	Не наблюдается
		Кратковременные, но интенсивные ливни	Не наблюдается

Окончание табл.

Ending table

Тип гидроморфизма	Условия гидроморфизма	Механизм проявления	Причины проявления процесса гидроморфизма
Естественный	Высокий уровень грунтовых вод	Близкое залегание грунтовых вод к поверхности	Не наблюдается
		Ускорение окислительно-восстановительных реакций в грунтовых водах, формирование глеевых почв	Не наблюдается
		Перемещение оксидов железа и марганца, дефицит кислорода и длительное разложение органических веществ	Не наблюдается
	Геоморфологические особенности (рельеф)	В понижениях, долинах, болотах, вблизи водохранилищ и озер происходит скопление воды и процесс гидроморфизма выражен сильнее	Не наблюдается
		В рельефах с низинами и плохо сформированной дренажной системой	Не наблюдается
	Сточный режим и дренажная система	Естественная слабость водного стока	Не наблюдается
		Отсутствие или недостаточная работа дренажных систем	Не наблюдается
		В поймах рек и вокруг озер наблюдаются периодические затопления	Не наблюдается
		При сильных осадках растения не успевают быстро испарять влагу	Не наблюдается
	Растительный покров и транспирация	Влияние влаголюбивых растений (например, тростника), снижающих содержание кислорода в почве	Не наблюдается
Чрезмерное использование воды в сельском хозяйстве приводит к накоплению избыточной влаги и заболачиванию		Не наблюдается	
Антропогенные причины, связанные с деятельностью человека	Неправильное орошение и ирригация	Несоответствующая система орошения	Не наблюдается
		Длительное накопление воды	Не наблюдается
	Недостаточность дренажной системы	Недостаточное внедрение дренажной системы	Богарные земли
	Строительство и урбанизация	Снижение уровня транспирации в результате массовой вырубки деревьев	Не наблюдается
		Строительство дорог, зданий и промышленных предприятий	Не наблюдается
	Заболачивание и засоление земель	Засоление и заболачивание почв вследствие неправильного управления оросительными водами	Не наблюдается

Из вышеизложенного анализа следует, что в формировании гидроморфизма почв вокруг Каттакурганского водохранилища, появлении болотных горизонтов и изменении морфологии почв рельеф играет важную роль. Влияние водохранилища на почвы наблюдается на северной, северо-западной и северо-восточной сторонах, тогда как на восточной, южной и западной сторонах оно не выявлено, процессы гидроморфизма в почвах не обнаружены. Основная причина заключается в том, что восточная, южная и западная стороны расположены на 20–25 м выше уровня моря по сравнению с северной стороной, представлены богарными землями и не используются в сельском хозяйстве. Северная же часть расположена ниже других. Именно здесь размещены входные и выходные каналы водохранилища, а также активно используются орошаемые земли. Влияние водохранилища на почвенный покров северной стороны также неравномерно. Согласно результатам, наибольшее поднятие грунтовых вод наблюдается в северо-западной части, и этот эффект проявляется на расстоянии до 3–3,5 км от водохранилища; в северо-восточной части влияние прослеживается до 2 км, а в северной – до 1,7 км.

Формирование гидроморфизма, засоление почв, изменение растительного покрова и содержание гумуса в почвах вокруг Каттакурганского водохранилища определяются как природными, так и антропогенными факторами, однако влияние антропогенных факторов выше. Это связано с недостаточной эффективностью коллекторно-дренажной системы и неправильными подходами при возделывании сельскохозяйственных культур.

Заключение

Под воздействием деятельности Каттакурганского водохранилища наблюдается развитие гидроморфизма в почвах прилегающей территории. Однако влияние водоема на почвы неоднородно: основное подпитание грунтовых вод происходит на северной стороне, тогда как на восточной, южной и западной сторонах оно выражено очень слабо. Причина в том, что восточная, южная и западная стороны расположены на 20–25 м выше северной и представляют собой богарные земли, которые не используются в хозяйственной деятельности. Здесь изменения растительного покрова и морфологии почвенного профиля незначительны.

На северной стороне процесс гидроморфизма имеет выраженные различия: наибольшее воздействие наблюдается на северо-западе, где уровень грунтовых вод фиксирован на глубине 82 см, что приводит к выраженному оглеению и заболачиванию. На северо-востоке и севере уровень грунтовых вод располагается на глубине 1–2 м. Различия в проявлении гидроморфизма на северной стороне объясняются проведением мелиоративных мероприятий в фермерских хозяйствах, а также контролем работы дренажной системы для поддержания уровня грунтовых вод ниже 1,5 м.

Результаты исследований подтверждают, что влияние грунтовых вод на северной стороне прослеживается до 3 км. При эффективной работе дренажной системы его можно снизить до 1 км, что создаст условия для накопления органического вещества в почве, повышения подвижности питательных элементов и улучшения водного и воздушного режимов.

Библиографические ссылки

1. Белозерцева ИА, Воробьева ИБ, Власова НВ, Лопатина ДН. Трансформация почв побережья Иркутского водохранилища и оз. Байкал (в пределах Иркутской области) в результате влияния колебаний уровня водоемов. *Природа Внутренней Азии*. 2023;1(23):18–48.
2. Гарькуша ДН, Фёдоров ЮА, Косолапов АЕ, Усова ЕВ, Анпилова ЕЛ. Анализ факторов формирования концентраций и эмиссионных потоков метана в водохранилищах. *Антропогенная трансформация природной среды*. 2024;10(1):37–50. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2024-1-37-50>.
3. Jia YY, Dua HF & Ya, XF. Effect of Hydro-geomorphological Environments on Surface Water Areas Extraction. *Water Resour Manage*. 2025;8. <https://doi.org/10.1007/s11269-025-04212-8>
4. Francis Henrique Tenório Firmino, João Carlos Ker, Maurício Paulo Ferreira Fontes, Hidelbandi Farias de Melo, Jaime Wilson Vargas de Mello, Luiz Felipe Mesquita Acid Sulfate Soils and Their Impact on Surface Water Quality: A Case Study in Southeast Brazil. *European Journal of Soil Science*. 2025;76(3):e70115.
5. Salmi A, Baghdadi ME, Hilali A, et al. Assessing the relationship between iron behavior and phosphorus in hydromorphic soils: the day Valley case, Tadla Plain, Morocco. *Mediterranean Geoscience Reviews*. 2025;7:379–393. <https://doi.org/10.1007/s42990-025-00165-7>.
6. Ayala Izurieta JE, Jara Santillán CA, Márquez CO, et al. Improving the remote estimation of soil organic carbon in complex ecosystems with Sentinel-2 and GIS using Gaussian processes regression. *Plant Soil*. 2022;479:159–183. <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05506-1>.
7. Bhat MA, Mishra AK, Shah SN, et al. Soil and mineral nutrients in plant health: a prospective study of iron and phosphorus in the growth and development of plants. *Current Issues in Molecular Biology*. 2024;46:5194–5222. <https://doi.org/10.3390/cimb46060312>.
8. Gojiya KM, Rank HD, Chauhan PM, et al. Remote sensing and GIS applications in soil salinity analysis: a comprehensive review. *International Journal of Environment and Climate Change*. 2023;13:2149–2161. <https://doi.org/10.9734/IJECC/2023/v13i113377>.
9. Hilali A, Baghdadi M, Hamzaoui EH. GIS and AHP multi-criteria analysis methods for the quality assessment of agricultural soils irrigated with wastewater: case of the Day River, Beni Mellal (Morocco). *Arabian Journal of Geosciences*. 2021;22(14):2388. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-08654-3>.
10. Jalhoum MEM, Abdellatif MA, Mohamed ES, et al. Multivariate analysis and GIS approaches for modeling and mapping soil quality and land suitability in arid zones. *Heliyon*. 2024;10:e27577. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024>.
11. Kermeur N, Pédrot M, Cabello-Hurtado F. Iron Availability and Homeostasis in Plants: A Review of Responses, Adaptive Mechanisms, and Signaling. In: Couée I, editor. *Plant Abiotic Stress Signaling*. New York: Springer; 2023. p. 49–81. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3044-0_3.
12. Kraal P, van Genuchten CM, Behrends T. Phosphate coprecipitation affects reactivity of iron (oxyhydr) oxides towards dissolved iron and sulfide. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2022;321:311–328. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2021.12.032>.
13. Truskavetskiy R, Zubkovskaya V, Khyzhniak I, Palamar N. Specificity of Processes in Hydromorphic Soils. In: Dmytruk Y, Dent D (eds) *Soils Under Stress: More Work for Soil Science in Ukraine*. Cham: Springer International Publishing; 2021. p. 69–78. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68394-8_7.
14. Belozertseva IA, Vorobyeva IB & Vlasova NV Soil Transformation along the Coast of Baikal Due to Lake Level Fluctuations (Irkutsk Oblast). *Geography and Natural Resources*. 2023;44:238–252. <https://doi.org/10.1134/S1875372823030022>.
15. Raimundo Jiménez-Ballesta, Francisco J. San José, Jorge Mongil-Manso, Laura Escudero-Campos, María P. Álvarez-Castellanos Properties of Waterlogged Soils Developed on Arkose and Aeolian Sands in an Agro-Silvopastoral System. *European Journal of Soil Science*. 2025;76(1):e70055. <https://doi.org/10.1111/ejss.70055>.
16. Yiguo Ran, Peng Wang, Fei Ye, Junfeng Qu, Yang Ning, Yanshuo Zhang, Zhaofei Wen, Shengjun Wu, Ping Huang Patterns and drivers of organic carbon in hydromorphic soils across inland aquatic-terrestrial ecotones at the global scale. *Catena*. 2024;244:108–266. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.108266>.
17. ISO 25177:2020. Soil quality — Field soil description. International Organization for Standardization. Geneva: [publisher unknown]; 2020.

18. ISO 10381-2:2002. Soil quality — Sampling — Part 2: Guidance on sampling techniques. International Organization for Standardization. Geneva: [publisher unknown]; 2002.
19. Likhanova IA, Deneva SV, Kholopov YV, Kuznetsova EG, Shakhtarova OV, Lapteva EM. The Effect of Hydromorphism on Soils and Soil Organic Matter during the Primary Succession Processes of Forest Vegetation on Ancient Alluvial Sands of the European North-East of Russia. *Forests*. 2022; 13(2):230. <https://doi.org/10.3390/f13020230>.
20. Ni Y, et al. Spatial and temporal evolution and factors influencing soil aggregate stability in the riparian zone during exposure: A case study of the water-level fluctuation zone of the Three Gorges Reservoir, China. *Science of The Total Environment*. 2024;957:177408. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.17740>.
21. Sun X, Liu S, Tang H, Zhang F, Jia L, Li C, Ma L, Liu J, Jiang K, Ding Z, et al. Effects of Water-Level Fluctuation on Soil Aggregates and Aggregate-Associated Organic Carbon in the Water-Level Fluctuation Zone of the Three Gorges Reservoir, China. *Land*. 2024;13(3):313. <https://doi.org/10.3390/land13030313>.
22. Qin D, Li S, Wang J, Wang D, Liao P, Wang Y, Zhu Z, Dai Z, Jin Z, Hu X, Qiu S, Ma Y, Chen J. Spatial variation of soil phosphorus in the water level fluctuation zone of the Three Gorges Reservoir: Coupling effects of elevation and artificial restoration. *Science of The Total Environment*. 2023;905:167000. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167000>.
23. Qin J, et al. How have the drawdown zones of large reservoirs changed globally? *Ecological Engineering*. 2025;10:102–260. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2025>.
24. Lv J, et al. Elevation-related variations of soil disintegration and its driving forces in the water-level fluctuation zone of the Three Gorges Reservoir, China. *Geomorphology*. 2024;10:109–193. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2024>.
25. Lewis ASL, et al. Reservoir drawdown highlights the emergent effects of water level change on reservoir physics, chemistry, and biology. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*. 2024;129:77–80. DOI: 10.1029/2023JG007780.
26. Ran Y, Li Y, Zhang Q, et al. Patterns and drivers of organic carbon in hydromorphic soils across inland aquatic-terrestrial ecotones at the global scale. *Catena*. 2024;7409:108266. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.108266>.
27. Sun X, Liu S, Tang H, Zhang F, Jia L, Li C, Ma L, Liu J, Jiang K, Ding Z, et al. Effects of Water-Level Fluctuation on Soil Aggregates and Aggregate-Associated Organic Carbon in the Water-Level Fluctuation Zone of the Three Gorges Reservoir, China. *Land*. 2024;13(3):313. <https://doi.org/10.3390/land13030313>.
28. Naz F, et al. Seasonal dynamics of soil ecosystems in the riparian zones of the Three Gorges Reservoir, China. *Global Ecology and Conservation*. 2024;54:1–16. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2024.e03174>.
29. Zhang S, et al. Decreased stability of soil dissolved organic matter under disturbance of periodic flooding and drying in a reservoir drawdown area. *Science of the Total Environment*. 2025;969:178343. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178343>.
30. Zhang X, Zhu B. Changes of riparian soil-plant system phosphorus responding to hydrological alternations of Three Gorges Reservoir. *Scientific Reports*. 2025;15(1):5629. doi: 10.1038/s41598-025-85942-y. PMID: 39955283; PMCID: PMC11829974.
31. Su Y, et al. Methane emission from water-level fluctuation zone: Seasonal variation and microbial mechanism. *Science of the Total Environment*. 2024;912:168935. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168935>.
32. Новикова НМ, Кузьмина ЖВ, Мамутов НК. Опустынивание дельты Амударьи и динамика растительности в условиях Аральского кризиса. *Аридные экосистемы*. 2023;4(97):4–20.
33. Абдуллаев СА, Жаббаров ЗА, Турсунова АБ, Околелова АА, Холдоров ШМ. Изменение мелиоративного состояния почв, распространенных вокруг Каттакурганского водохранилища. *Живые и биокосные системы*. 2019;28:7. DOI: 10.18522/2308-9709-2019-28-7.
34. Курвантаев Р, Мазиров МА, Солиева НА, Хакимова НХ. Эволюция и прогноз развития орошаемых типичных и светлых сероземов на третьей террасе реки Зарафшан. *Владимирский земледелец*. 2021;4:98.

References

1. Belozertseva IA, Vorobyova IB, Vlasova NV, Lopatina DN. *Transformatsiya pochv poberej'ya Irkutskogo vodoxraniliya i oz. Baykal (v predelakh Irkutskoy oblasti) v rezultate vliyaniya kolebaniy urovnya vodoemov* [Transformation of soils of the coast of the Irkutsk Reservoir and Lake Baikal (within the Irkutsk region) as a result of the influence of water level fluctuations]. *Nature of Inner Asia*. 2023;1(23):18–48. Russian.
2. Garkusha DN, Fedorov YuA, Kosolapov AE, Usova EV, Anpilova EL. *Analiz faktorov formirovaniya kontsentratsiy i emissionnykh potokov metana v vodokhranilishchakh* [Analysis of factors forming concentrations and emission fluxes of methane in reservoirs]. *Anthropogenic transformation of the natural environment*. 2024;10(1):37–50. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2024-1-37-50>. Russian.
3. Jia YY, Dua HF & Ya, XF. Effect of Hydro-geomorphological Environments on Surface Water Areas Extraction. *Water Resour Manage*. 2025;8. <https://doi.org/10.1007/s11269-025-04212-8>
4. Francis Henrique Tenório Firmino, João Carlos Ker, Maurício Paulo Ferreira Fontes, Hidelbandi Farias de Melo, Jaime Wilson Vargas de Mello, Luiz Felipe Mesquita Acid Sulfate Soils and Their Impact on Surface Water Quality: A Case Study in Southeast Brazil. *European Journal of Soil Science*. 2025;76(3):e70115.
5. Salmi A, Baghdadi ME, Hilali A, et al. Assessing the relationship between iron behavior and phosphorus in hydromorphic soils: the day Valley case, Tadla Plain, Morocco. *Mediterranean Geoscience Reviews*. 2025;7:379–393. <https://doi.org/10.1007/s42990-025-00165-7>.
6. Ayala Izurieta JE, Jara Santillán CA, Márquez CO, et al. Improving the remote estimation of soil organic carbon in complex ecosystems with Sentinel-2 and GIS using Gaussian processes regression. *Plant Soil*. 2022;479:159–183. <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05506-1>.
7. Bhat MA, Mishra AK, Shah SN, et al. Soil and mineral nutrients in plant health: a prospective study of iron and phosphorus in the growth and development of plants. *Current Issues in Molecular Biology*. 2024;46:5194–5222. <https://doi.org/10.3390/cimb46060312>.
8. Gojiya KM, Rank HD, Chauhan PM, et al. Remote sensing and GIS applications in soil salinity analysis: a comprehensive review. *International Journal of Environment and Climate Change*. 2023;13:2149–2161. <https://doi.org/10.9734/IJECC/2023/v13i113377>.
9. Hilali A, Baghdadi M, Hamzaoui EH. GIS and AHP multi-criteria analysis methods for the quality assessment of agricultural soils irrigated with wastewater: case of the Day River, Beni Mellal (Morocco). *Arabian Journal of Geosciences*. 2021;22(14):2388. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-08654-3>.

10. Jalhoum MEM, Abdellatif MA, Mohamed ES, et al. Multivariate analysis and GIS approaches for modeling and mapping soil quality and land suitability in arid zones. *Heliyon*. 2024;10:e27577. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024>.
11. Kermeur N, Pédrot M, Cabello-Hurtado F. Iron Availability and Homeostasis in Plants: A Review of Responses, Adaptive Mechanisms, and Signaling. In: Couée I, editor. *Plant Abiotic Stress Signaling*. New York: Springer; 2023. p. 49–81. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3044-0_3.
12. Kraal P, van Genuchten CM, Behrends T. Phosphate coprecipitation affects reactivity of iron (oxyhydr) oxides towards dissolved iron and sulfide. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2022;321:311–328. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2021.12.032>.
13. Truskavetskiy R, Zubkovskaya V, Khyzhniak I, Palamar N. Specificity of Processes in Hydromorphic Soils. In: Dmytruk Y, Dent D (eds) *Soils Under Stress: More Work for Soil Science in Ukraine*. Cham: Springer International Publishing; 2021. p. 69–78. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68394-8_7.
14. Belozertseva IA, Vorobyeva IB & Vlasova NV Soil Transformation along the Coast of Baikal Due to Lake Level Fluctuations (Irkutsk Oblast). *Geography and Natural Resources*. 2023;44:238–252. <https://doi.org/10.1134/S1875372823030022>.
15. Raimundo Jiménez-Ballesta, Francisco J. San José, Jorge Mongil-Manso, Laura Escudero-Campos, María P. Álvarez-Castellanos Properties of Waterlogged Soils Developed on Arkose and Aeolian Sands in an Agro-Silvopastoral System. *European Journal of Soil Science*. 2025;76(1):e70055. <https://doi.org/10.1111/ejss.70055>.
16. Yiguo Ran, Peng Wang, Fei Ye, Junfeng Qu, Yang Ning, Yanshuo Zhang, Zhaofei Wen, Shengjun Wu, Ping Huang Patterns and drivers of organic carbon in hydromorphic soils across inland aquatic-terrestrial ecotones at the global scale. *Catena*. 2024;244:108–266. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.108266>.
17. ISO 25177:2020. Soil quality — Field soil description. International Organization for Standardization. Geneva: [publisher unknown]; 2020.
18. ISO 10381-2:2002. Soil quality — Sampling — Part 2: Guidance on sampling techniques. International Organization for Standardization. Geneva: [publisher unknown]; 2002.
19. Likhanova IA, Deneva SV, Kholopov YV, Kuznetsova EG, Shakhtarova OV, Lapteva EM. The Effect of Hydromorphism on Soils and Soil Organic Matter during the Primary Succession Processes of Forest Vegetation on Ancient Alluvial Sands of the European North-East of Russia. *Forests*. 2022; 13(2):230. <https://doi.org/10.3390/f13020230>.
20. Ni Y, et al. Spatial and temporal evolution and factors influencing soil aggregate stability in the riparian zone during exposure: A case study of the water-level fluctuation zone of the Three Gorges Reservoir, China. *Science of The Total Environment*. 2024;957:177408. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.177408>.
21. Sun X, Liu S, Tang H, Zhang F, Jia L, Li C, Ma L, Liu J, Jiang K, Ding Z, et al. Effects of Water-Level Fluctuation on Soil Aggregates and Aggregate-Associated Organic Carbon in the Water-Level Fluctuation Zone of the Three Gorges Reservoir, China. *Land*. 2024;13(3):313. <https://doi.org/10.3390/land13030313>.
22. Qin D, Li S, Wang J, Wang D, Liao P, Wang Y, Zhu Z, Dai Z, Jin Z, Hu X, Qiu S, Ma Y, Chen J. Spatial variation of soil phosphorus in the water level fluctuation zone of the Three Gorges Reservoir: Coupling effects of elevation and artificial restoration. *Science of The Total Environment*. 2023;905:167000. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167000>.
23. Qin J, et al. How have the drawdown zones of large reservoirs changed globally? *Ecological Engineering*. 2025;10:102–260. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2025>.
24. Lv J, et al. Elevation-related variations of soil disintegration and its driving forces in the water-level fluctuation zone of the Three Gorges Reservoir, China. *Geomorphology*. 2024;10:109–193. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2024>.
25. Lewis ASL, et al. Reservoir drawdown highlights the emergent effects of water level change on reservoir physics, chemistry, and biology. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*. 2024;129:77–80. DOI: 10.1029/2023JG007780.
26. Ran Y, Li Y, Zhang Q, et al. Patterns and drivers of organic carbon in hydromorphic soils across inland aquatic-terrestrial ecotones at the global scale. *Catena*. 2024;7409:108266. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.108266>.
27. Sun X, Liu S, Tang H, Zhang F, Jia L, Li C, Ma L, Liu J, Jiang K, Ding Z, et al. Effects of Water-Level Fluctuation on Soil Aggregates and Aggregate-Associated Organic Carbon in the Water-Level Fluctuation Zone of the Three Gorges Reservoir, China. *Land*. 2024;13(3):313. <https://doi.org/10.3390/land13030313>.
28. Naz F, et al. Seasonal dynamics of soil ecosystems in the riparian zones of the Three Gorges Reservoir, China. *Global Ecology and Conservation*. 2024;54:1–16. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2024.e03174>.
29. Zhang S, et al. Decreased stability of soil dissolved organic matter under disturbance of periodic flooding and drying in a reservoir drawdown area. *Science of the Total Environment*. 2025;969:178343. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178973>.
30. Zhang X, Zhu B. Changes of riparian soil-plant system phosphorus responding to hydrological alternations of Three Gorges Reservoir. *Scientific Reports*. 2025;15(1):5629. doi: 10.1038/s41598-025-85942-y. PMID: 39955283; PMCID: PMC11829974.
31. Su Y, et al. Methane emission from water-level fluctuation zone: Seasonal variation and microbial mechanism. *Science of the Total Environment*. 2024;912:168935. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168935>.
32. Novikova NM, Kuzmina ZhV, Mamutov NK. *Opustynivaniye del'ny Amudar' i I dinamika rastitel'nosti v usloviyakh Aral'skogo krizisa* [Desertification of the Amu Darya Delta and Vegetation Dynamics under the Aral Sea Crisis]. *Arid Ecosystems*. 2023;4(97):4–20. Russian.
33. Abdullaev SA, Zhabbarov ZA, Tursunova AB, Okolelova AA, Kholdorov ShM. *Izmeneniye meliorativnogo sostoyaniya pochv, rasprostranennykh vokrug Kattakurganskogo vodokhranilishcha* [Changes in the meliorative state of soils distributed around the Kattakurgan reservoir]. *Living and bioinert systems*. 2019;28:7. DOI: 10.18522/2308-9709-2019-28-7. Russian.
34. Kurvantaev R, Mazirov MA, Solieva NA, Khakimova NKh. *Evolutsiya i prognoz razvitiya oroshayemykh tipichnykh i svetlykh serozomov na tret'yey terrase reki Zarafshan* [Evolution and forecast of the development of irrigated typical and light sierozems on the third terrace of the Zarafshan River]. *Vladimirskij zemledelets*. 2021;4:98. Russian.

Статья поступила в редколлегию 19.08.2025.
Received by editorial board 19.08.2025.