

Научная статья

УДК 631.4:342.7054

DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-11-23

**Анализ площадей экологически неблагополучных переувлажненных почв
в агроландшафтах Калининградской области**

Ольга Алексеевна Анциферова¹, Валерия Павловна Бертова²

^{1,2} Калининградский государственный технический университет, Калининград,
Россия

¹olga.antsiferova@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5389-7243>

²valeriya.bertova@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена актуальной проблеме учета переувлажненных почв на основе анализа картографических материалов и космических снимков с последующей обработкой данных. В условиях гумидного климата Калининградской области (Юго-Западная Прибалтика) около 80 % почв являются осушенными, поэтому исследование направлено на оценку их гидрологического состояния в агроландшафтах. Потенциальные площади земель, подверженные переувлажнению, предлагается выделять на основе диагностического почвенного показателя – степени оглеения. В условиях осушения наибольшему риску развития неблагоприятной эколого-гидрологической ситуации подвержены глеевые почвы (дерново-подзолистые глеевые, дерново-глеевые, болотные низинные). Суммарно на водоразделах они составляют 21,9 % от общей площади сельскохозяйственных угодий Калининградской области (без учета аллювиальных почв) и 26,2 % в Зеленоградском муниципальном округе. Изучение почвенного покрова территории 15 сельскохозяйственных предприятий, существовавших в 70-е – 80-е годы XX в., выявило сильную пространственную неоднородность в распределении ареалов глеевых почв при высоких коэффициентах вариации. Аналогичная ситуация сохраняется на современных пахотных угодьях. Актуальные площади почв, подверженных переувлажнению, учитывали на основе анализа космических снимков, сделанных в ноябре – декабре и феврале – апреле 2016–2022 гг. в наиболее типичные периоды развития неблагоприятной гидрологической ситуации. Для четырех пахотных участков показано, что доля переувлажненных почв составляет в среднем от 17,5 до 38,7 % общей площади полей. Варьирование площадей почв с неудовлетворительным гидрологическим состоянием может быть связано с выпадением большого количества осадков и их аккумуляцией в замкнутых понижениях. Различные нарушения дренажной сети приводят к некачественной ее работе по отводу избыточной влаги с полей. Итоги эколого-гидрологического мониторинга почв, подверженных переувлажнению, являются основанием для принятия решений по оптимизации мелиоративного состояния.

Ключевые слова: переувлажнение, глеевые почвы, анализ почвенных карт, космические снимки, почвенно-гидрологический мониторинг.

Для цитирования: Анциферова О. А., Бертова В. П. Анализ площадей экологически неблагоприятных переувлажненных почв в агроландшафтах Калининградской области // Известия КГТУ. 2023. № 70. С. 11–23. DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-11-23.

Original article

Analysis of the areas of ecologically unfavorable waterlogged soils in the agro-landscapes of the Kaliningrad region

Ol'ga A. Antsiferova¹, Valeriya P. Bertova²

^{1,2}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

¹olga.antsiferova@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5389-7243>

²valeriya.bertova@mail.ru

Abstract. The article is devoted to the actual problem of soils with excessive moisture accounting based on the analysis of cartographic materials and satellite images with subsequent data processing. In the humid climate of the Kaliningrad region (South-Western Baltic States), about 80% of the soils are drained, so the study is aimed at assessing their hydrological state in agricultural landscapes. Potential areas of land subject to waterlogging are proposed to be allocated on the basis of a diagnostic soil indicator – the degree of gley. In conditions of drainage, gley soils (Gleic Albeluvusols, Umbric Gleysols, Eutric Histosols) are at the greatest risk of developing an unfavorable ecological and hydrological situation. In total, they make up 21.9% of the total area of agricultural land in the Kaliningrad Region (excluding alluvial soils) and 26.2% in the Zelenograd Municipal District. The study of the soil cover of the territory of 15 agricultural enterprises that existed in the 70s – 80s of the twentieth century revealed a strong spatial heterogeneity in the distribution of areas of gley soils with high coefficients of variation. A similar situation persists on modern arable land. The actual areas of soils subject to waterlogging were taken into account based on the analysis of satellite images taken in November – December and February – April 2016–2022 during the most typical periods of the development of an unfavorable hydrological situation. For four arable plots, it is shown that the proportion of waterlogged soils averages from 17.5 to 38.7% of the total field area. Variation of soil areas with unsatisfactory hydrological condition may be associated with the precipitation of large amounts of precipitation and their accumulation in closed depressions. Various violations of the drainage network leads to poor quality of its work to remove excess moisture from the fields. The results of ecological and hydrological monitoring soils with excessive moisture in the agrolandscapes are the basis for making decisions to optimize the reclamation state.

Keywords: waterlogging, gley soils, analysis of soil maps, satellite images, soil hydrological monitoring.

For citation: Antsiferova O. A., Bertova V. P. Analysis of the areas of ecologically unfavorable waterlogged soils in the agro-landscapes of the Kaliningrad region. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2023; (70):11-23. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-11-23.

ВВЕДЕНИЕ

Глобальные климатические изменения и усиливающееся антропогенное влияние на природные ландшафты обостряют проблему переувлажнения земель в регионах России в целом и Северо-Западного федерального округа в частности [1–3]. Наибольшая опасность переувлажнения почв наблюдается в Архангельской, Псковской, Калининградской областях и Республике Коми. Особенностью Калининградской области является широкомасштабная мелиорация почв и наличие больших площадей польдерных земель (70 % от всей площади польдеров в России) [4]. Природно-климатические условия обуславливают высокий риск развития чрезвычайных ситуаций, связанных с подтоплением низменных осушаемых территорий.

На мировом уровне особенно остро стоит проблема переувлажнения земель, когда речь идет о сельскохозяйственных угодьях [5–8]. Переувлажнение и подтопление на осушаемых землях представляют собой деграционные процессы, снижающие количество и качество сельскохозяйственной продукции [6, 9], поэтому актуальными задачами являются разработка стратегий адаптации и управления территориями в зонах риска переувлажнения почв [10–12]. Для этого необходим мониторинг и учет проблемных почв, подверженных переувлажнению и подтоплению, на уровне регионов и сельскохозяйственных предприятий. В основу научно-обоснованного подхода должны быть положены генетические различия почв и их актуальное эколого-гидрологическое состояние. Такие исследования для условий Калининградской области практически отсутствуют.

Цель работы – предложение и апробация методологии оценки потенциальных и актуальных площадей экологически неблагоприятных почв, подверженных переувлажнению, на основании анализа картографических материалов, дистанционного и наземного мониторинга.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ почвенного покрова проведен на уровнях мелкомасштабных (1:500 000) карт Калининградской области, среднемасштабной (1:200 000) карты административной единицы (Зеленоградского муниципального округа; в XX в. района), крупномасштабных (1:10 000) почвенных карт колхозов и совхозов (1970–1990 гг.), пахотных угодий (по состоянию на 2022 г.) ООО «Молочная фабрика» (Зеленоградское подразделение растениеводства агрохолдинга «Долгов Групп»).

В работе использован комплекс методов исследования на основе генетического принципа классификации почв: сравнительно-географический, картографический, стационарный (почвенно-режимных наблюдений).

Обработка картографических материалов проводилась с использованием компьютерных программ MS Office (Picture manager, Excel), Adobe Fine Reader, Google Earth, Quantum GIS. Натурные полевые исследования осуществлялись на ключевых участках в Зеленоградском муниципальном округе, в том числе на полигонах многолетнего почвенно-гидрологического мониторинга [9]. Для учета площадей проблемных почв в ходе маршрутных обследований использован

GPS-навигатор «Garmin Dacota». Статистический и графический анализ данных выполнен с использованием программы Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Официальные данные указывают, что в Калининградской области площадь переувлажненных почв составляет 170 тыс. га, а заболоченных – 30,5 тыс. га [13], что в сумме равно 24,4 % от всей площади сельскохозяйственных угодий. В то же время данные ФГБУ «Управление “Калининградмелиоводхоз”» показывают, что площади осушенных сельскохозяйственных угодий, попадающих в категорию «неудовлетворительное состояние» ввиду несвоевременного отвода поверхностных вод и поднятия уровня грунтовых вод, варьируют от 27,5 до 38,5 %. Следовательно, наблюдается неопределенность площадей земель, подверженных переувлажнению и подтоплению. Причинами различий в официальных цифрах являются как неточности в методике учета, так и влияние погодных условий.

Территория области характеризуется гумидным климатом со среднемноголетними значениями годового количества осадков от 700 до 805 мм по данным основных метеостанций. Для Калининграда этот показатель составляет 781 мм [14, с. 82–83]. Мы провели корреляционный анализ и установили, что за 10 лет (2012–2021 гг.) долевой вклад среднегодового количества осадков в формирование неблагоприятной экологической ситуации с переувлажнением соответствует 46 %. Так, в сухие и средние по количеству осадков годы площадь почв с неудовлетворительным мелиоративным состоянием варьирует от 25,7 до 31,1 %, а в годы с экстремальной суммой осадков более 1000 мм (например, 2017) увеличивается до 38,5 %. Наряду с погодными условиями решающее значение имеет состояние мелиоративных систем. Сочетание обоих этих факторов в итоге дает нестабильные цифры площадей земель, подверженных переувлажнению и подтоплению на сельскохозяйственных угодьях. Однако, для повышения точности учета и экологической грамотности необходимо понимание, что земледелие, кормопроизводство, пастбищное животноводство ведутся на конкретных почвах, имеющих классификационное название. Понятие «переувлажненные земли» подразумевает земли, почвы которых содержат воду в количестве, затрудняющем их хозяйственное использование [1, с. 276]. Переход от термина «земли» к термину «почвы» повышает информативность понятия «переувлажнение» путем наполнения конкретными количественными характеристиками. Переувлажнение почв – состояние, когда содержание в них влаги превышает 85 % от предельной полевой влагоемкости на почвах тяжелого гранулометрического состава или 95 % – на почвах легкого гранулометрического состава [1, с. 276]. Таким образом, переувлажнение – динамичный показатель. Длительность переувлажнения находит отражение в морфологических признаках почв, что положено в основу разделения их на автоморфные (неоглеенные), глееватые и глеевые. Этот генетический признак используется для картографирования, агроэкологической группировки земель, прикладных классификаций почв (эколого-гидрологической, ландшафтно-экологической) [15,16].

Многолетние исследования, проведенные нами на ключевых участках в западной и центральной частях Калининградской области, позволили установить, что степень оглеения является стабильным диагностическим показателем, влияющим на продуктивность зерновых колосовых, озимого рапса и многолетних

трав [9, 17]. Для большинства полевых культур урожайность снижается в ряду «неоглеенные – глееватые – глеевые», причем в глеевых почвах снижение урожайности достоверно в течение многих лет. В условиях сложного почвенного покрова сельскохозяйственных угодий потенциально проблемными являются дерново-подзолистые глеевые, дерново-глеевые и болотные низинные осушенные почвы. Все они приурочены к пониженным элементам рельефа, аккумулирующим поверхностный и внутрипочвенный сток. Долевое участие этих почв в составе почвенного покрова конкретного поля можно выяснить, используя информационные ресурсы крупномасштабных почвенных карт сельскохозяйственных угодий, составленных Калининградским отделением СевЗапГипрозема в 70-е – 80-е годы XX в. Границы почвенных ареалов четко обозначены в пространстве, поэтому процент глееватых и глеевых почв можно считать стабильным, но все же потенциальным фактором снижения продуктивности сельскохозяйственных культур. Так как речь идет об агроландшафтах с регулируемым водным режимом путем осушительной мелиорации, то условно отрицательный экологический потенциал оглеения может и не проявиться. Поэтому требуется учет динамичных компонентов, которые приводят к возникновению переувлажнения на оглеенных почвах. Экологическим эффектом переувлажнения в агроландшафтах является снижение продуктивности сельскохозяйственных культур или их полная гибель.

Нами предлагается методология оценки почв, подверженных переувлажнению (рис. 1). Реализация этого предложения может быть выполнена на разных уровнях: областном, муниципальном, уровне сельскохозяйственного предприятия и отдельного поля. Последний уровень является наиболее важным, так как именно он служит минимальной хозяйственной единицей производства сельскохозяйственной продукции растениеводства, овощеводства открытого грунта, промышленного садоводства, кормопроизводства, пастбищного животноводства.



Рис. 1. Система оценки почв, подверженных переувлажнению в осенне-весенний период

Fig. 1. Assessment system of soils subject to waterlogging in the autumn-spring period

Апробацию предложенной методики провели в 2022 г. на четырех уровнях: 1) областном; 2) районном; 3) уровне сельскохозяйственного предприятия; 4) уровне индивидуального поля. В качестве тестовой территории выбран Зеленоградский муниципальный округ, большая часть площади которого относится к физико-географическому району Самбийской холмисто-моренной равнины [14, с. 30].

На основании каталога площадей почв, приведенного в книге В. И. Панасина с соавторами [18], почвенных карт и их корректировки с учетом выделения буроземов [9] было рассчитано долевое участие почв разной степени оглеения в составе почвенного покрова Зеленоградского района (название на период составления карт) (рис. 2).

На уровне района (современного муниципального округа) абсолютно доминируют оглеенные почвы, что является основанием для отнесения территории к агроэкологической группе полугидроморфно-зональных [11, с. 168]. Глеевые почвы, потенциально подверженные переувлажнению, суммарно составляют 26,2 % на водораздельных территориях.

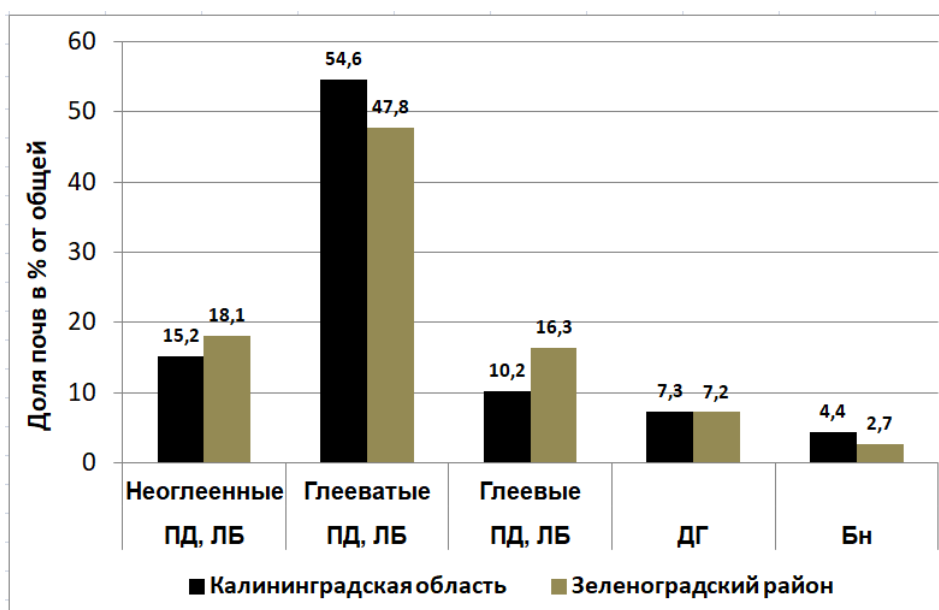


Рис. 2. Распределение почв сельскохозяйственных угодий по степени оглеения (без учета аллювиальных)

Fig. 2. Distribution of agricultural land soils by degree of gley (excluding alluvial)

Индексы почв: ПД – дерново-подзолистые; ЛБ – буроземы; ДГ – дерново-глеи; Бн – болотные низинные

Следующий этап оценки проводился на уровне отдельных сельскохозяйственных предприятий. В советский период в Зеленоградском районе функционировали колхозы и совхозы. Результаты обработки данных крупномасштабных почвенных карт Гипрозема показывают очень высокий разброс площадей почв разных групп оглеения (табл. 1), что связано с геоморфологическими и литологическими условиями. Уже на данном уровне просматривается сложность и контра-

стность почвенных условий, которая и является главной предпосылкой возникновения очагов переувлажнения в условиях волнистого и холмистого рельефа.

Для анализа площадей экологически неблагополучных почв на четвертом уровне было выбрано четыре типичных пахотных поля и изучен их почвенный покров. Выяснилось, что доля глеевых почв на современной пашне очень высока и составляет 43,6–79,6 % (табл. 2). Это является существенным фактором потенциального снижения урожайности из-за повышенного гидроморфизма.

Таблица 1. Распределение почв по степени оглеения внутри сельскохозяйственных предприятий Зеленоградского района (% от общей площади колхоза / совхоза, 70-е–80-е годы XX века)

Table 1. Distribution of soils by degree of gley within agricultural enterprises of the Zelenograd district (% of the total area of the collective farm/ state farm, 70s–80s of the twentieth century)

№ колхоза / совхоза	Автоморфные (неоглеенные) почвы	Полугидроморфные зональные почвы		Гидроморфные почвы	
		Глееватые	Глеевые	Дерново-глеевые	Болотные
1	15,0	50,7	23,4	5,9	5,0
2	36,6	45,2	5,9	9,0	3,2
3	18,5	49,0	21,0	5,4	6,0
4	5,4	72,6	11,0	7,4	1,0
5	12,7	58,9	18,4	1,3	3,7
6	10,4	37,6	26,3	17,1	0,3
7	6,7	46,3	13,6	4,0	0,1
8	13,4	52,2	16,9	8,9	1,3
9	0,2	52,0	17,7	3,7	0
10	11,2	48,2	23,5	6,7	4,3
11	15,9	50,7	13,5	0,2	4,9
12	22,4	43,1	23,2	5,3	1,8
13	48,3	33,5	2,2	7,2	6,4
14	13,6	43,3	27,8	3,6	1,3
15	41,9	33,6	–	23,1	1,4
Статистические показатели					
X	18,1	47,8	16,3	7,3	2,7
σ	13,7	9,8	8,6	5,9	2,2
m	3,4	2,5	2,2	1,5	0,5
Lim	0,2 – 48,3	33,5–72,6	2,2–26,3	0,2–23,1	0–6,4
V	75,7	20,5	52,7	80,8	81,5

Примечание: X – среднее арифметическое; σ – стандартное отклонение; m – ошибка среднего; lim – пределы варьирования (минимальное и максимальное значение показателя); V – коэффициент вариации, %

Таблица 2. Доля проблемных глеевых почв на основе анализа почвенных карт
Table 2. The proportion of problematic gley soils based on the analysis of soil maps

Название ключевого участка	Площадь участка, га	Площадь (га) /доля глеевых почв в % от общей площади поля
Перелески	151,7	<u>77,0</u> 50,8
20-й км	136,8	<u>59,6</u> 43,6
Коврово	134,7	<u>107,2</u> 79,6
Низовка	48,2	<u>22,6</u> 46,9

Актуальные площади переувлажненных почв на тестовых ключевых участках выделяли на основании анализа серий разновременных космических снимков Google Earth из открытого доступа с последующей обработкой в программе Quantum GIS для отрезка в 7 лет с 2016 по 2022 гг. (табл. 3).

Для диагностики переувлажнения и оценки экологических рисков от гидрологических факторов по космическим снимкам важен период «октябрь – декабрь» и «февраль – апрель» для условий Калининградской области. Контур вымочек и темные ареалы переувлажненных почв хорошо просматриваются на космических снимках, сделанных в период распаханного, но незасеянного поля или в начальные фазы роста сельскохозяйственных культур до смыкания посевов. Информативны также зимние космоснимки при условии незначительного снегового покрова на поле или его отсутствия. Снимки, составленные из склеенных фрагментов, выбраковывались. Мало информации несут снимки, сделанные в период максимального вегетативного развития растений или покрытия почвы стерней после уборки культуры. Описанные трудности подбора космических снимков затрудняют анализ разновременных серий для качественной дистанционной диагностики площадей переувлажненных почв. Для уточнения площадей проблемных почв проводили наземный обход с выделением участков снижения или полной гибели урожая из-за гидрологических факторов.

Таблица 3. Динамика площадей переувлажненных почв (% от общей площади поля) на тестовых участках по результатам обработки космических снимков
Table 3. Dynamics of the areas of waterlogged soils (% of the total field area) in test areas based on the results of satellite image processing

Годы	Название ключевого участка и его площадь, га			
	Перелески	20-й км	Коврово	Низовка
2016	53,8	29,7	18,2	16,0
2017	40,3	54,1	37,5	19,0
2018	38,8	34,4	35,6	16,6
2019	36,6	Нет данных	20,5	18,9
2020	30,5	27,6	22,1	19,3
2021	30,7	18,5	Нет данных	16,8
2022	33,7	19,4	Нет данных	18,0

Статистические показатели				
X	37,8	30,6	25,8	17,5
σ	8,0	13,0	7,8	1,2
m	3,1	4,5	3,0	0,5
Lim	30,7–53,8	18,5–54,4	18,2–35,6	16,0–19,3
V	21,2	45,5	30,2	6,9

Результаты исследования выявили значительный разброс доли почв, подверженных переувлажнению на всех ключевых участках в разные годы. Проверка гипотезы связи с количеством осадков показала, что коэффициент корреляции варьирует на разных полях от 0,74 до 0,46. Таким образом, теснота связи неустойчивая (от сильной до слабой). Существенный вклад вносит площадь замкнутых понижений на полях с регулярным застоем влаги в зимний и весенний периоды (январь – март) и эффективность работы дренажных систем. Крупные (3–16 га) замкнутые западины (Перелески, Коврово) являются основными очагами переувлажнения почв, что приводит к гибели урожая от вымокания [9].

Сравнительный анализ потенциальных и актуальных площадей проблемных почв позволил выяснить, что благодаря осушительной мелиорации площадь переувлажненных почв на пахотных полях меньше, чем глеевых (рис. 3).

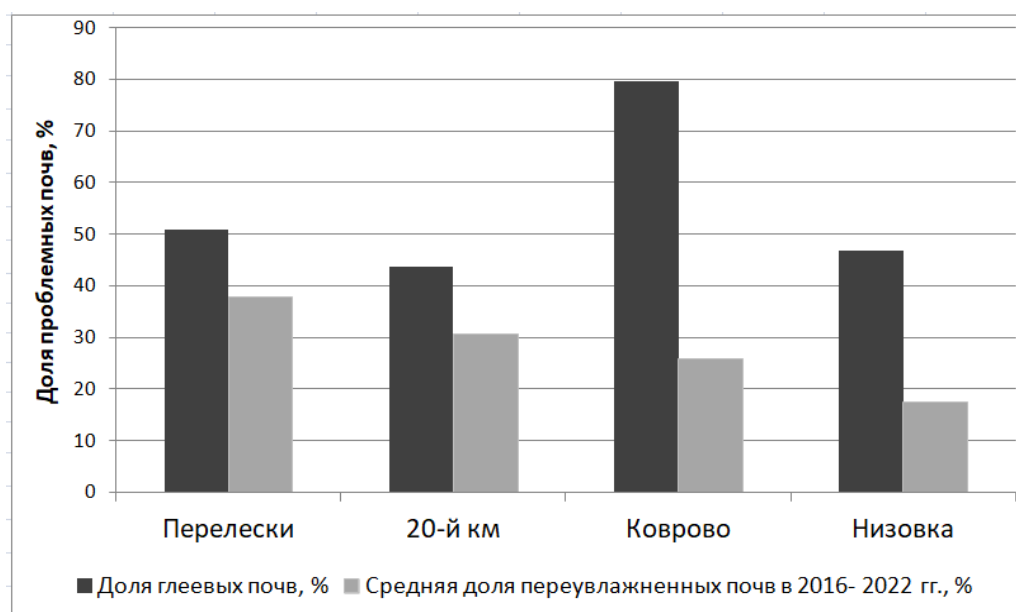


Рис. 3. Сравнительный анализ потенциальных (глеевых) и актуальных (переувлажненных) проблемных почв в 2016–2022 гг.

Fig. 3. Comparative analysis of potential (gley) and actual (waterlogged) problem soils in 2016–2022

Однако современное мелиоративное состояние пашни оценивается как неудовлетворительное. По итогам наземного обследования установлено, что причинами низкой эффективности работы дренажных систем являются несвоевременный отвод поверхностной влаги, блокирование стока из коллекторов, механические повреждения коллекторов и мелких осушителей, засыпка водопоглотитель-

ных колодцев. В результате в среднем на четверти площади пахотных полей возникает переувлажнение в осенний и весенний периоды. Поэтому улучшение работы осушительных систем позволит снизить гидрологические риски земледелия и сократить площади экологически неблагоприятных переувлажненных почв в агроландшафтах.

ВЫВОДЫ

1. Предложена методика анализа площадей земель, подверженных переувлажнению, основанная на последовательном учете стабильного лимитирующего показателя (степень оглеения почв) и динамичных показателей (состояние дренажных систем и количество почв с избыточной влажностью на полях).

2. По данным имеющихся картографических материалов глеевые почвы, потенциально подверженные переувлажнению (суммарно дерново-подзолистые глеевые, дерново-глеевые и болотные), составляют 21,9 % от всех почв сельскохозяйственных угодий в Калининградской области и 26,2 % – в Зеленоградском муниципальном округе при широком варьировании на конкретных полях.

3. Наиболее информативным периодом для дистанционной диагностики площадей переувлажненных почв по космическим снимкам является поздняя осень и февраль – апрель. При анализе снимков первостепенное внимание надо уделять состоянию поверхности поля.

4. Площадь актуальных почв, подверженных переувлажнению, существенно варьирует в зависимости от сочетания геоморфологических и климатических условий, а также состояния дренажных систем. В 2016–2022 гг. доля переувлажненных почв на пахотных полях в Зеленоградском муниципальном округе варьировала в среднем от 17,5 до 37,8 % в позднеосенний и ранневесенний периоды.

Список источников

1. Переувлажнение и подтопление земель в регионах России / под ред. В. В. Разумова. Москва: Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева, 2018. 279 с.
2. Зоидзе Е. К., Разумов В. В., Хомякова Т. В. Опасность и риск переувлажнения земель // Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций Северо-Западного федерального округа России / под ред. С. К. Шойгу. Москва: Дизайн, Информация, Картография, 2010. С. 230–233.
3. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации / под общ. ред. С. К. Шойгу. Москва: Дизайн, Информация, Картография, 2005. 271 с.
4. Об экологической обстановке в Калининградской области в 2021 году: Государственный доклад. Калининград, 2022. 200 с.
5. Pierce S. C., Kröger R. and Pezeshki R. Managing Artificially Drained Low-Gradient Agricultural Headwaters for Enhanced Ecosystem Functions // Biology. 2012. V. 1. P. 794 – 856. DOI: 10.3390/biology1030794.
6. Golden Impacts and management strategies for crop production in waterlogged or flooded soils: A review / G. Kaur, G. Singh, P. P. Motavalli, K. A. Nelson, J. M. Orlowski // Agronomy Journal. 2020. V. 112. P. 1475–1501. DOI: 10.1002/agj2.20093.

7. Soil and Crop Management Practices to Minimize the Impact of Waterlogging on Crop Productivity / S. M. N. Manik, G. Pengilley, G. Dean, B. Field, S. Shabala and M. Zhou // *Front. Plant Sci.* 2019. V. 10. Art. 140. DOI: 10.3389/fpls.2019.00140.
8. The Use of Spectral Indices to Recognize Waterlogged Agricultural Land in South Moravia, Czech Republic / M. Bednář, B. Šarapatka, P. Netopil, M. Zeidler, T. Hanousek, L. Homolová // *Agriculture*. 2023. V. 13. Art. 287. DOI: 10.3390/agriculture13020287.
9. Анциферова О. А. Гидрологический режим и агроэкологическая оценка почв агроландшафтов Самбийской равнины. Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ». 2022. 356 с.
10. Schneider F., Don A. Root-restricting layers in German agricultural soils. Part II: Adaptation and melioration strategies // *Plant Soil*. 2019. V. 442. P. 419–432. DOI: 10.1007/s11104-019-04186-8.
11. Рекомендации по развитию агропромышленного комплекса и сельских территорий Нечерноземной зоны Российской Федерации до 2030 г. Версия 2.0 / под ред. С. Г. Митина, А. Л. Иванова. Москва: Изд-во МБА, 2021. 400 с.
12. Кирюшин В. И. Концепция развития земледелия в Нечерноземье. Санкт-Петербург: ООО «Квадро», 2020. 276 с.
13. Доклад о состоянии и использовании земель Калининградской области в 2006 г. Калининград: Управление Федерального агентства кадастра объектов недвижимости по Калининградской области, 2007. 69 с.
14. Географический атлас Калининградской области / гл. ред. В. В. Орленок. Калининград: Изд-во КГУ; ЦНИТ, 2002. 276 с.
15. Зайдельман Ф. Р. Генезис и экологические основы мелиорации почв и ландшафтов. Москва: КДУ, 2009. 720 с.
16. Кирюшин В. И. Классификация почв и агроэкологическая типология земель. Санкт-Петербург: Изд-во «Лань», 2016. 288 с.
17. Сафонова Д. Н., Анциферова О. А. Влияние запасов продуктивной влаги на урожайность многолетних трав на осушенных дерново-подзолистых почвах тяжелого гранулометрического состава // *Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова*, 2022. № 28. С. 23–32.
18. Панасин В. И., Депутатов К. В., Вихман М. И. Почвы Калининградской области и их агрохимические свойства. Калининград: Изд-во БФУ им. Канта, 2020. 240 с.

References

1. *Pereuvlazhneniye i podtopleniye zemel' v regionakh Rossii*. Pod red. V. V. Razumova [Waterlogging and flooding of lands in the regions of Russia. Ed. by V. V. Razumov]. Moscow, Pochvennyy in-t im. V. V. Dokuchaeva, 2018, 279 p.
2. Zoidze E. K., Razumov V. V., Khomyakova T. V. *Opasnost' i risk pereuvlazhneniya zemel'* [Danger and risk of waterlogging of lands]. *Atlas prirodnikh i tekhnogennykh opasnostey i riskov chrezvychaynykh situatsiy Severo-Zapadnogo federal'nogo okruga Rossii*. Pod red. S. K. Shoygu [Atlas of natural and man-made hazards and risks of emergency situations of the North-Western Federal District of Russia. Ed. by S. K. Shoigu]. Moscow, Dizayn, Informatsiya, Kartografiya, 2010, pp. 230–233.

3. *Atlas prirodnikh i tekhnogennykh opasnostey i riskov chrezvychaynykh situatsiy v Rossiyskoy Federatsii*. Pod red. S. K. Shoigu [Atlas of natural and man-made hazards and risks of emergency situations in the Russian Federation. Under the general editorship of S. K. Shoigu]. Moscow, Dizayn, Informatsiya, Kartografiya, 2005, 271 p.
4. Gosudarstvennyy doklad «Ob ekologicheskoy obstanovke v Kaliningradskoy oblasti v 2021 godu» [State report "On the environmental situation in the Kaliningrad region in 2021"]. Kaliningrad, 2022, 200 p.
5. Pierce S. C., Kröger R. and Pezeshki R. Managing Artificially Drained Low-Gradient Agricultural Headwaters for Enhanced Ecosystem Functions. *Biology*, 2012, vol. 1, pp. 794 – 856. DOI: 10.3390/biology1030794.
6. Kaur G., Singh G., Motavalli P. P., Nelson K. A., Orlowski J. M. Golden Impacts and management strategies for crop production in waterlogged or flooded soils: A review. *Agronomy Journal*, 2020, vol. 112, pp. 1475–1501. DOI: 10.1002/agj2.20093.
7. Manik S. M. N., Pengilley G., Dean G., Field B., Shabala S. and Zhou M. Soil and Crop Management Practices to Minimize the Impact of Waterlogging on Crop Productivity. *Front. Plant Sci*, 2019, vol. 10, art. 140. DOI: 10.3389/fpls.2019.00140.
8. Bednář M., Šarapatka B., Netopil P., Zeidler M., Hanousek T., Homolová L. The Use of Spectral Indices to Recognize Waterlogged Agricultural Land in South Moravia, Czech Republic. *Agriculture*, 2023, vol. 13, art. 287. DOI: 10.3390/agriculture13020287.
9. Antsiferova O. A. *Gidrologicheskiy rezhim i agroekologicheskaya otsenka pochv agrolandshaftov Sambiyskoy ravniny* [Hydrological regime and agroecological assessment of soils of agricultural landscapes of the Sambian plain]. Kaliningrad, KGTU Publ., 2022, 356 p.
10. Schneider F., Don A. Root-restricting layers in German agricultural soils. Part II: Adaptation and melioration strategies. *Plant Soil*, 2019, vol. 442, pp. 419– 432. DOI: 10.1007/s11104-019-04186-8.
11. *Rekomendatsii po razvitiyu agropromyshlennogo kompleksa i sel'skikh territoriy Nechernozemnoy zony Rossiyskoy Federatsii do 2030 g. Versiya 2.0*. Pod red. S. G. Mitina, A. L. Ivanova [Recommendations for the development of the agro-industrial complex and rural territories of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation until 2030 Version 2.0. Edited by S. G. Mitin, A. L. Ivanov]. Moscow, MBA Publ., 2021, 400 p.
12. Kiryushin V. I. *Kontseptsiya razvitiya zemledeliya v Nechernozem'ye* [The concept of agriculture development in the Non-Chernozem region]. Saint-Petersburg, Quadro Publ., 2020, 276 p.
13. Doklad o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' Kaliningradskoy oblasti v 2006 g. [Report on the state and use of the lands of the Kaliningrad region in 2006]. Kaliningrad, Upravleniye Federal'nogo agentstva kadastra ob'yektov nedvizhimosti po Kaliningradskoy oblasti, 2007, 69 p.
14. *Geograficheskiy atlas Kaliningradskoy oblasti*. Gl. red. V. V. Orlenok [Geographical atlas of the Kaliningrad region. Ch. ed. V. V. Orlenok]. Kaliningrad, KGU Publ., 2002, 276 p.
15. Zaydel'man F. R. *Genezis i ekologicheskiye osnovy melioratsii pochv i landshaftov* [Genesis and ecological foundations of soil and landscape reclamation]. Moscow, KDU, 2009, 720 p.

16. Kiryushin V. I. *Klassifikatsiya pochv i agroekologicheskaya tipologiya zemel'* [Classification of soils and agroecological typology of lands]. Saint-Petersburg, Lan' Publ., 2016, 288 p.

17. Safonova D. N., Antsiferova O. A. Vliyaniye zapasov produktivnoy vlagi na urozhaynost' mnogoletnikh trav na osushennykh dernovo-podzolistykh pochvakh tyazhelogo granulometricheskogo sostava [The effect of productive moisture reserves on the yield of perennial grasses on drained sod-podzolic soils of heavy granulometric composition]. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii im. V.R. Filippova*, 2022, no. 28, pp. 23–32.

18. Panasin V. I., Deputatov K. V., Vikhman M. I. *Pochvy Kaliningradskoy oblasti i ikh agrokhimicheskiye svoystva* [Soils of the Kaliningrad region and their agrochemical properties]. Kaliningrad, BFU im. Kanta Publ., 2020, 240 p.

Информация об авторах

О. А. Анциферова – доктор сельскохозяйственных наук, профессор

В. П. Бертова – студент

Information about the authors

O. A. Antsiferova – Doctor of Agricultural Sciences, Professor

V. P. Bertova – student

Статья поступила в редакцию 10.05.2023; одобрена после рецензирования 24.05.2023; принята к публикации 05.06.2023.

The article was submitted 10.05.2023; approved after reviewing 24.05.2023; accepted for publication 05.06.2023.