

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-5-15-22>

УДК 631.6:528.854



КАРТИРОВАНИЕ И ТИПИЗАЦИЯ ВЫМОЧЕК СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА ОСНОВЕ ДАННЫХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ СВЕРХВЫСОКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Г.Б. Остапчук¹¹ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»; 195220, г. Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14, Россия¹ost@agrophys.ru; SPIN- 7905-9266; ID РИНЦ: 1268828

Аннотация. Цель исследований заключалась в картировании, типизации и оценке характеристик вымочек сельскохозяйственных культур на основе космических снимков сверхвысокого пространственного разрешения. Объектом исследований являлись вымочки сельскохозяйственных культур, расположенные в границах сельскохозяйственных полей Меньковского филиала ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», Гатчинский район Ленинградской области. Работы включали в себя полевое обследование указанных вымочек, анализ их дешифровочных признаков и оценку их характеристик на основе космических снимков. Основные результаты исследований представлены следующими положениями. Для обнаружения вымочек целесообразно использовать серию архивных космических снимков, сделанных преимущественно в ранневесенний и осенний периоды. Дешифровочные признаки вымочек на космических снимках в зависимости от времени года съемки представлены двумя основными группами: высококонтрастные переувлажненные контуры с признаками скопления воды преимущественно в ранневесенний период и контуры с угнетенной растительностью в вегетационный период. Указанные дешифровочные признаки имеют на космических снимках временный или устойчивый характер. В результате полевого обследования установлено, что вымочки с устойчивым во времени контуром имеют форму котловины, глубину 36 см и более, площадь не менее 0,1 га. Для выяснения вероятной причины возникновения вымочки требуется осуществить картирование закрытых коллекторов внутри ее границ. Выявление на космических снимках высококонтрастной точки или участка вблизи закрытого коллектора в границах контура вымочки может свидетельствовать о наличии неисправности закрытого коллектора в указанном месте или ниже по его трассе. Ключевыми с мелиоративной точки зрения классификационными признаками вымочек на космических снимках являются наличие закрытых коллекторов в границах контура вымочки и устойчивость контура вымочки во времени. Результативность оценки характеристик обследованных вымочек по космических снимкам: формы рельефа и вероятной глубины – 86%; причины возникновения вымочки как результата технической неисправности закрытого коллектора – 50%.

Ключевые слова: вымочки сельскохозяйственных культур, закрытый трубчатый дренаж, космический снимок, картирование, осушение, гидротехническая мелиорация

Формат цитирования: Остапчук Г.Б. Картирование и типизация вымочек сельскохозяйственных культур на основе данных космических снимков сверхвысокого пространственного разрешения // Природообустройство. 2025. № 5. С. 15-22. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-5-15-22>

Original article

MAPPING AND TYPIFICATION OF AGRICULTURAL CROP OVERWETTINGS BASED ON ULTRA-HIGH SPATIAL RESOLUTION SATELLITE IMAGERY DATA

G.B. Ostapchuk¹¹Agrophysical Research Institute 14, Grazhdanskiy pr., St. Petersburg, Russia, 195220.¹ost@agrophys.ru; SPIN- 7905-9266; ID РИНЦ: 1268828

Abstract. The research aimed to map, classify and evaluate agricultural field overwetting plots and their features using ultra-high spatial resolution satellite images. The object of the research is overwetting plots located within the agricultural fields of Menkovsky branch of Agrophysical Research Institute, Gatchina

district of Leningrad region. Study included a field survey of such an overwetting plots, analysis and evaluation of their interpretation characteristics on satellite images. Overall results are as follows. A set of high spatial resolution satellite images mainly taken in early spring and autumn is needed to detect overwetting plots of agricultural field. The visible overwetting plots interpretation characteristics on satellite images are divided depending on time of the year they made into two groups: high contrast counters with signs of water accumulation – in early spring and counters with signs of depressed vegetation – in vegetation period. The overwetting plots contours interpretation characteristics on satellite images have temporary or permanent type; as a result of the field survey it was established that overwetting plots with permanent type of contour have a shape of basin, depth of 36 cm and more and area of at least 0.1 ha. Mapping of the drainage pipes placed inside overwetting plots contour is required to clarify the probable cause of their origin. The presence of the high contrast point or area close to main drainage pipe within the boundaries of overwetting plots contour on satellite images may indicate a malfunction of the closed collector in the specified location or further down its route. Taking into account the melioration tasks, the key classification features of overwetting plots on satellite images are: presence of main drainage pipe within the boundaries of overwetting plots contour and the stability of such contours over time. The evaluation results of the surveyed overwetting plot characteristics on satellite images are as follows: relief forms and probable depth – 86%; the clarifying of the main drainage pipe malfunction as a cause of overwetting plots origin – 50%.

Keywords: overwettings of agricultural crops, closed drainage pipes, satellite image, mapping, drainage, hydrotechnical reclamation, water temperature

Format of citation: Ostapchuk G.B. Mapping and typification of agricultural crop overwetting based on ultra-high spatial resolution satellite images // Prirodoobustrojstvo. 2025. № 5. P. 15-22. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-5-15-22>

Введение. Площадь осушенных сельскохозяйственных угодий в Российской Федерации составляет 4,78 млн га. В проведении работ по восстановлению и реконструкции нуждаются осушительные системы на площади 1,16 млн га [1].

Целесообразность проведения реконструкции закрытого трубчатого дренажа устанавливается в ходе оценки состояния осушенных земель, одним из критериев которого является наличие скопления поверхностных вод или вымочек сельскохозяйственных культур на полях [2]. Выявление в вегетационный период вымочек сельскохозяйственных культур посредством аэрофотосъемки или проведения полевого обследования приобрело значение основного способа обоснования необходимости реконструкции закрытого дренажа. Известно, что достоверность получаемых результатов таких работ зависит от кратности, периода обследования и типа почв, достигая значений 70-90% [3].

С учетом того, что причина возникновения вымочек сельскохозяйственных культур может быть обусловлена как естественной природой их возникновения, а именно водопроницаемостью почв и микрорельефом, так и искусственной – наличием повреждений на трассах закрытого трубчатого дренажа [2, 4], к последней относится и не-подключение при реконструкции осушительных систем старых действующих дрен ко вновь устраиваемым [5], задача по картированию закрытого дренажа в границах контура вымочки является

одним из условий установления причины ее возникновения.

Как показал опыт по Калининградской области, аэрофотосъемка является эффективным способом выявления закрытого трубчатого дренажа [6]. В настоящее время стали доступны новые дистанционные способы получения информации о наличии на сельскохозяйственных угодьях закрытого дренажа и вымочек сельскохозяйственных культур и, в частности, аэрофотосъемка с беспилотных летательных аппаратов и космическая съемка сверхвысокого пространственного разрешения (величина пространственного разрешения – менее 1 м). Использование аэрофотографических снимков с беспилотных летательных аппаратов для картирования закрытого дренажа на сельскохозяйственных угодьях рассмотрено в работах [7, 8], а космических снимков сверхвысокого пространственного разрешения – в работе [9]. Вопрос выявления контуров с угнетенным состоянием растительности на осушенных сельскохозяйственных угодьях по данным космических снимков среднего пространственного разрешения изучен в работе [10]. В то же время вопросы типизации вымочек сельскохозяйственных культур по их дешифровочным признакам на космических снимках сверхвысокого пространственного разрешения остаются актуальными.

Цель исследований: картирование, типизация и оценка характеристик вымочек сельскохозяйственных культур на основе космических

снимков сверхвысокого пространственного разрешения.

Материалы и методы исследований.

Объектом исследований являются выявленные на космических снимках сверхвысокого пространственного разрешения локальные перевуалаженные контуры сельскохозяйственных угодий, в том числе с угнетенным состоянием вегетирующей растительности, вымочки сельскохозяйственных культур (далее – вымочки) на осущеных закрытым дренажем полях № 4, № 8, № 14, № 19 и боярном поле № 26 Меньковского филиала ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», Гатчинский район Ленинградской области.

Географические координаты обследованных вымочек: вымочка № 1-59°25'46» с.ш., 30°01'26» в.д.; вымочка № 2-59°25'30» с.ш., 30°01'05» в.д.; вымочка № 3-59°24'50» с.ш., 30°00'18» в.д.; вымочка № 4-59°24'43» с.ш., 30°00'01» в.д.; вымочка № 5-59°24'46» с.ш., 30°00'54» в.д.; вымочка № 6-59°25'00» с.ш., 30°00'47» в.д.; вымочка № 7-59°25'30» с.ш., 30°02'20» в.д.

Для работы были использованы следующие материалы: 1) электронные копии планово-карографических материалов на строительство мелиоративной системы Меньковского филиала ФГБНУ «Агрофизической научно-исследовательский институт»; 2) результаты полевого обследования гидротехнических сооружений указанной мелиоративной системы, проведенного в 2022-2024 гг., и результаты картирования закрытого дренажа; 3) результаты полевого обследования вымочек, проведенного в 2024 г.; 4) цветосинтезированные изображения архивных космических снимков сверхвысокого пространственного разрешения на рассматриваемую территорию (далее – космические снимки).

Космические снимки подбирались таким образом, чтобы на них были представлены дешифровочные признаки вымочек. Для исследований были использованы: космические снимки, полученные с отечественного космического аппарата «Ресурс-П» № 1 с датами съемки 26.03.2014 г., 06.08.2014 г., 17.05.2017 г., 15.06.2017 г., 07.11.2020 г. и пространственным разрешением 70 см на пиксель, а также с датой съемки 02.11.2017 г. и пространственным разрешением 110 см на пиксель [11]; космические снимки с зарубежных космических аппаратов WorldView-1, GeoEye-1, Pleiades-1 и WorldView-2 с датами съемки 12.09.2009 г., 06.05.2012 г., 17.09.2014 г. и 22.04.2019 г. соответственно и пространственным разрешением по данным [12] 46-50 см на пиксель [13].

Для выполнения картометрических работ указанные планово-карографические материалы и космические снимки были привязаны к плановой системе координат проекции Гаусса-Крюгера, зона 6N, в компьютерной программе – географической информационной системе с открытым исходным кодом QGIS.

Полевое обследование вымочек включало в себя инструментальную съемку рельефа вымочек техническим нивелиром Н3 в двух взаимно перпендикулярных направлениях с точкой пересечения в относительном центре вымочки и интервалами между смежными съемочными точками 5 или 10 м в зависимости от размеров вымочки, а также панорамное фотографирование вымочек и описание их признаков.

На основе результатов нивелирной съемки были получены сведения о максимальной глубине вымочек и форме их рельефа. Рельеф вымочек был построен на основе данных относительных высот в ГИС QGIS посредством последовательного использования модулей «Contour plugin» и «Generalizer». Работы по картированию вымочек, а также анализ устойчивости их контуров во времени осуществлены способом визуального дешифрирования космических снимков. Площадь вымочек определена картометрическим способом.

Данные о максимальной глубине вымочек, форме их рельефа, площади, и устойчивости их контуров во времени, а также сведения о наличии и состоянии закрытой дренажной системы в границах вымочек послужили основой для разработки классификации вымочек, а также для последующей оценки ключевых характеристик вымочек на основе космических снимков.

Результаты и их обсуждение. Анализ характеристик вымочек по космическим снимкам. План-схемы вымочек сельскохозяйственных культур с отображением их рельефа и других характеристик и панорамные фотографические снимки вымочек представлены в таблице 1 (условные обозначения к планам-схемам и фотографиям вымочек – в конце указанной таблицы).

Анализ фотоизображений вымочек на космических снимках показывает, что их дешифровочные признаки можно подразделить на две основные, преимущественно в ранневесенний период (см. план-схемы вымочек № 3, № 4, № 6 и № 7; контуры с угнетенной растительностью в вегетационный период (см. план-схемы вымочек № 1, № 2 и № 5). Полная характеристика вымочек по данным анализа космических снимков представлена в таблице 2.

Таблица 1. План-схемы и фотографии вымочек / Table 1. Layouts and photographs of overwettings

№ вымочек No overwettings	План-схема вымочки Overwetting plan and diagram	Фотография вымочки Photo of the overwetting	№ вымочек No overwettings	План-схема вымочки Overwetting plan and diagram	Фотография вымочки Photo of the overwetting
1			5		
2			6		
3			7		
4					

Условные обозначения / Conventional designations

Граница контура вымочки	Высококонтрастная точка/область
Изолинии глубин, см	Мелиоративные сооружения
▼	— Закрытый коллектор
	— Открытый канал

Примечание – Вымочка № 1 и высококонтрастная область внутри ее границы картированы с привлечением дополнительных снимков 26.03.2014, 06.08.2014 и 17.05.2017 годов, а вымочка № 5-06.05.2012 года.

Note: Overwetting No. 1 and the high-contrast area within its boundary were mapped using additional images taken on March 26, 2014, August 6, 2014, and May 17, 2017, and recess No. 5 on May 6, 2012.

Таблица 2. Характеристика вымочек по данным анализа космических снимков
Table 2. Characteristics of overwettings based on satellite imagery analysis

№№ вы- моч- ки №№ over- wet- tings	Площадь вымочки, Overwetting area, м ²	Устойчивость контура вымочки во времени Stability of the overwetting contour over time	Форма рельефа вымочки Relief shape of the overwetting	Наличие закрытых коллекторов в границах вымочки The presence of closed collectors within the overwetting boundaries	Наличие контрастной точки вблизи закрытого коллектора внутри контура вымочки и дата космоснимка The presence of a contrast point near a closed collector inside the contour of the overwetting and the date of the satellite image
1	1291	Устойчивый stable	Котловина basin	Есть present	есть / present / 06.08.2014
2	1330	Устойчивый stable	Котловина basin	Отсутствует missing	закрытый коллектор отсутствует closed collector is missing
3	246	Неустойчивый unstable	Котловина basin	Отсутствует missing	закрытый коллектор отсутствует closed collector is missing
4	970	Неустойчивый unstable	Неопределенная uncertain	Есть present	Отсутствует missing
5	1282	Неустойчивый unstable	Неопределенная uncertain	Есть present	есть / present / 15.06.2017
6	679	Неустойчивый unstable	Неопределен- ная/вытянутая котловина Uncertain / elon- gated basin	Есть present	Есть / present / 22.04.2019
7	1621	Устойчивый stable	Котловина basin	Отсутствует missing	закрытый коллектор отсутствует closed collector is missing

Анализ космических снимков показывает, что для части вымочек первая группа дешифровочных признаков в течение вегетационного периода сменяется второй группой – вымочки № 1, № 2 и № 7. Остальные вымочки (№ 3, № 4, № 5 и № 6) имеют неустойчивый контур, который исчезает в течение вегетационного периода.

Как отмечено в работе [5], зарастание вымочек сорняками и кустарником является закономерным процессом. Анализ космических снимков показал, что внутренняя неоднородность контуров вымочек в вегетационный период существенно снижает информативность дешифровочного признака наличия древесно-кустарниковой растительности внутри их контура, и это затрудняет оценку вымочек по данной характеристике. Исключение составляют космические снимки, полученные в зимний период, на которых при наличии снежного покрова способом визуального дешифрирования можно обнаружить древесно-кустарниковую растительность по отбрасываемой ею тени.

Форма контура вымочек на космических снимках позволяет определить предполагаемую форму их рельефа: вымочки № 1-3 и № 7 имеют признаки котловины,

а вымочки № 4-6 – неопределенной формы рельефа (см. план-схемы в таблице 1).

Анализом результатов картирования закрытого дренажа [10] и контуров вымочек выделены те вымочки, в границах которых проходят трассы закрытых коллекторов, а именно вымочки № 1 и № 4-6. При этом на космических снимках вблизи трасс закрытых коллекторов внутри контуров вымочек № 1, № 5 и № 6 обнаружено наличие высококонтрастной точки или области (см. план-схемы в таблице 1).

Площадь вымочек, определенная по космическим снимкам, находится в пределах от 0,02 до 0,2 га.

Анализ характеристик вымочек по данным полевого обследования. Характеристика вымочек по данным полевого обследования представлена в таблице 3.

Признаки вымочек в природе в вегетационный период были представлены закустаренностью, составом травостоя, наличием угнетенной растительности. Частичное зарастание вымочек кустарником характерно для большинства обследованных вымочек, а именно № 1-5. Отсутствие кустарника было отмечено для вымочек на пашне (вымочки № 6 и № 7).

Таблица 3. Характеристика вымочек по данным полевого обследования

Table 3. Characteristics of overwettings according to field survey data

№№ вы- моч- ки №№ over- wet- tings	Отличительный признак вымочки <i>A distinctive feature of the overwetting</i>	Форма рельефа вымочки <i>Relief shape of the overwetting</i>	Максималь- ная глубина вымочки, см <i>Maximum overwetting depth, sm</i>	Техническое состояние закрытого коллектора в границах контура вымочки и ниже по его трассе <i>Technical condition of the closed collector within the boundaries of the overwetting contour and below its route</i>
1	слабо угнетенная растительность, одиночный кустарник <i>slightly oppressed vegetation, single shrub</i>	Ложбина <i>hollow</i>	143*	засыпание / сильтация 50% <i>siltation</i>
2	состав травостоя, закустаренность <i>herbage composition, bushiness</i>	Котловина <i>basin</i>	36	закрытый коллектор отсутствует <i>closed collector is missing</i>
3	Закустаренность <i>bushiness</i>	Котловина <i>basin</i>	32	закрытый коллектор отсутствует <i>closed collector is missing</i>
4	густота травостоя, закустаренность <i>grass density, bushiness</i>	Агрогенный <i>agrogenic</i>	12	неисправен (устье не обнаружено) <i>defective (mouth not detected)</i>
5	Закустаренность <i>bushiness</i>	Смешанный <i>mixed</i>	13	Неисправен <i>faulty</i>
6	состав травостоя <i>composition of the herbage</i>	Смешанный <i>mixed</i>	11	Неисправен <i>faulty</i>
7	угнетенная растительность по краям вымочки <i>suppressed vegetation along the edges of the soak</i>	Котловина <i>basin</i>	40	закрытый коллектор отсутствует <i>closed collector is missing</i>

* – разность высот между наивысшей и наименее высокой точками ложбины

* – the difference in height between the highest and lowest points of the hollow

Рельеф вымочек, установленный на основе результатов нивелирной съемки, представлен котловинами (вымочки № 2, № 3 и № 7), ложбиной (вымочка № 1), а также смешанной (вымочки № 5 и № 6) или агрогенной (вымочка № 4) формами рельефа (см. план-схемы в таблице 1). Агрогенный рельеф вымочки № 4 обусловлен разравниванием кавальеров открытого канала ОК-4, смежного с вымочкой, или другими причинами. Смешанный рельеф вымочки № 5 представляет собою ложбину в сочетании с локальными возвышенными и пониженными местами в границах вымочки, а вымочки № 6 – слабо выраженной котловиной с переходом в вытянутую котловину на нижних отметках высот.

Наибольшую глубину, по данным нивелирной съемки, имеют вымочки в форме котловины (№ 2, № 3 и № 7) – 32-40 см. Остальные вымочки, за исключением № 1, а именно вымочки № 4-6, имеют глубину в пределах 11-13 см. Вымочка № 1 имеет форму ложбины, поэтому оценка по этой характеристике для нее неприменима.

По данным полевых обследований 2022-2024 гг., закрытые коллекторы, пересекающие вымочки № 4-6, повреждены и неработоспособны,

а закрытый коллектор в границах вымочки № 1 засыпан с сохранением водопроводящей функции. В местах, где на космических снимках вблизи трасс закрытых коллекторов внутри контуров вымочек № 5 и № 6 были выявлены высококонтрастные точки, при полевом обследовании было обнаружено наличие выхода дренажных вод на поверхность, что свидетельствует о наличии неисправности закрытого коллектора в указанном месте или ниже по его трассе.

Подводя итоги анализа характеристик вымочек по космическим снимкам и в природе, можно сделать следующие выводы. Вымочки с устойчивым во времени контуром имеют форму котловины, глубину 36 см и более и площадь более 0,1 га (вымочки № 2 и № 7). Вымочки, в границах контура которых проходит трасса закрытого коллектора, имеют большей частью неустойчивый во времени контур, неопределенную форму рельефа, глубину 13 см и менее и площадь менее 0,1 га (вымочки № 4-6).

С учетом того, что у обследованных вымочек, имеющих устойчивый во времени контур, глубина составляет 36 см и более, указанное значение было принято в качестве порогового для

оценки вероятной глубины вымочки по космическим снимкам.

Классификация вымочек. К ключевым с мелиоративной точки зрения классификационным характеристикам вымочек следует отнести наличие закрытых коллекторов в границах контура вымочки и устойчивость контуров вымочек во времени. Выявление первого классификационного признака позволяет установить вероятную причину возникновения вымочки как результата неисправности закрытого коллектора. Анализ по второму классификационному признаку позволяет оценить степень нарушения водно-воздушного режима почв в границах контура вымочки, и как следствие – его влияние на своевременность или запаздывание проведения агрономической обработки почвы, а также вероятность развития процессов закустаривания вымочки.

Оценка результативности анализа характеристик вымочек по космическим снимкам. Сопоставление представленных характеристик вымочек, полученных путем анализа космических снимков, с характеристиками вымочек, установленными при обследовании, позволяет выполнить оценку результативности такого анализа. Так, соответствие установленной по космическим снимкам формы рельефа вымочек фактической отмечается для вымочек в форме котловины (№ 2, № 3 и № 7) и вымочек со смешанной формой рельефа (вымочки № 4-6) или в целом для 86% общего числа вымочек. Несоответствие формы рельефа, а именно котловины ложбине, отмечено для вымочки № 1.

Соответствие установленной по космическим снимкам вероятной глубины вымочек относительно принятого порогового значения фактическим данным отмечено для 86% всех вымочек. При этом несоответствие такой оценки отмечено для вымочки № 1 по причине неприменимости для нее указанного показателя.

Соответствие оценки по космических снимкам технического состояния закрытых коллекторов, трассы которых проходят внутри контура вымочек, фактическому их состоянию отмечается для вымочек № 5 и № 6, или для 50% общего количества таких вымочек. В то же время несоответствие такой оценки для вымочки № 1 объясняется следующим обстоятельством. Наличие

высококонтрастной области в нижней части вымочки вблизи трассы закрытого коллектора обусловлено снижением в указанном месте общего уклона ложбины с 3,6 до 1,9%, что приводит к аккумуляции и уменьшению скорости притекающего со склона поверхности стока.

Выводы

Подводя итоги проведенных исследований, можно сделать следующие выводы.

1. Для обнаружения вымочек сельскохозяйственных культур целесообразно использовать серию архивных космических снимков, сделанных преимущественно в ранневесенний и осенний периоды.

2. Дешифровочные признаки вымочек на космических снимках представлены двумя основными группами: высококонтрастными переувлажненными контурами с признаками скопления воды преимущественно в ранневесенний период и контурами с угнетенной растительностью в вегетационный период. По степени устойчивости во времени указанные контуры подразделяются на временные и устойчивые; устойчивые контуры характерны для вымочек в форме котловины с глубиной 36 см и более и площадью не менее 0,1 га.

3. Для выяснения причины возникновения вымочки требуется осуществить картирование закрытых коллекторов внутри ее границ. Выявление высококонтрастной точки или участка вблизи трассы закрытого коллектора в границах контура вымочки может свидетельствовать о наличии неисправности закрытого коллектора в указанном месте или ниже по его трассе.

4. Ключевыми с мелиоративной точки зрения классификационными признаками вымочек на космических снимках являются наличие закрытых коллекторов в границах контура вымочки и устойчивость контуров вымочек во времени.

5. Результативность оценки характеристик обследованных вымочек по космическим снимкам: формы рельефа и вероятной глубины – 86%; причины возникновения вымочки как результата технической неисправности закрытого коллектора – 50%.

Благодарности. Автор признателен ведущему инженеру А.С. Старцеву за помощь в проведении нивелирной съемки.

Список использованных источников

1. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2021 году. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 356 с.
2. Временные рекомендации по реконструкции осушительных систем в Нечерноземной зоне РСФСР. Л.: СевНИИГиМ, 1989. 70 с.

References

1. Report on the status and use of agricultural lands in the Russian Federation in 2021. Moscow: Federal State Budgetary Scientific Institution "Rosinformagrotech", 2022. 356 p.
2. Temporary recommendations for the reconstruction of drainage systems in the Non-chernozem of the RSFSR.-L.: SevNIIGiM, 1989. 70 p.

3. Канцибер Ю.А. Особенности мелиоративно-гидротехнических изысканий при реконструкции осушительных систем / Реконструкция мелиоративных систем: сборник науч. тр. / Л.: СевНИИГиМ, 1990. С. 20-27.
4. Канцибер Ю.А., Золотов М.Е. Эффективность реконструкции осушительных систем в Ленинградской области // Реконструкция мелиоративных систем: сборник науч. трудов. Л.: СевНИИГиМ, 1990. С. 54-62.
5. Маслов Б.С. Вопросы повышения надежности дренажа переувлажненных земель / Б.С. Маслов, Ц.Н. Шкинкис, Х.А. Смилга // Мелиорация и водное хозяйство. Серия 2. Осушение и осушительные системы. Экспресс информация. Вып. 5. 1980. 30 с.
6. Мейер Г.Я. Применение аэрометодов для картирования закрытых дренажных систем / Г.Я. Мейер, И.М. Кривоносов // Труды лаборатории аэрометодов. Том V.-М. – Л.: Изд-во Акад. наук СССР, 1956. С. 103.
7. Allred B., Martinez L., Fessehazion M.K., Rouse G., Williamson T.N., Wishart D., Koganti T., Freeland R., Eash N., Batschelet A., Featheringill R. Overall results and key findings on the use of UAV visible-color, multispectral, and thermal infrared imagery to map agricultural drainage pipes // Agricultural Water Management. 2020. Vol. 232, 106036. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106036
8. Koganti T, Ghane E, Martinez LR, Iversen BV, Allred BJ. Mapping of Agricultural Subsurface Drainage Systems Using Unmanned Aerial Vehicle Imagery and Ground Penetrating Radar // Sensors (Basel). 2021 Apr 15; 21(8):2800. DOI: 10.3390/s21082800.
9. Остапчук Г.Б. Картирование закрытого трубчатого дренажа по космическим снимкам сверхвысокого пространственного разрешения / Г.Б Остапчук, А.Ф. Петрушин, Е.П. Митрофанов, А.С. Старцев // Агрофизика. 2024. № 1. С. 41-48.
10. Петрушин А.Ф. Определение состояния осушительных мелиоративных систем по данным дистанционного зондирования в Северо-Западном регионе Российской Федерации / А.Ф. Петрушин, Ю.Г. Янко, О.А. Митрофанова, Е.П. Митрофанов // Агрофизика № 2, 2023. С. 39-44. EDN: JOVSLT
11. Геопортал «Роскосмоса». – [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gptl.ru/> (дата обращения: 09.12.2024). – Режим доступа: по подписке.
12. Apollo Mapping. [Электронный ресурс]. URL: <https://imagehunter.apollomapping.com> (дата обращения: 28.02.2024).
13. Google Планета Земля. [Электронный ресурс]. URL: <https://earth.google.com/> (дата обращения: 28.02.2024).
3. Kantsiber Yu.A. Features of meliorative and hydraulic engineering surveys in the reconstruction of drainage systems / Reconstruction of melioration systems: collection of scientific papers / L.: SevNIIGiM, 1990. P. 20-27.
4. Kantsiber Yu.A., Zolotov M.E. Efficiency of drainage systems reconstruction in the Leningrad region // Reconstruction of melioration systems: collection of scientific papers / L.: SevNIIGiM, 1990. P. 54-62.
5. Maslov B.S. Issues of increasing the reliability of drainage overwetting lands / B.S. Maslov Ts.N. Shkinkis, H.A. Smilga // Land reclamation and water management. Series 2. Drainage and drainage systems. Express information. Issue 5. 1980. 30 p.
6. Meyer G.Ya. Application of aerial methods for mapping closed drainage systems/ Meyer G.Ya., I.M. Krivonosov // Proceedings of the laboratory of aerial methods. Volume V.-M. – L.: Publishing house of the Academy of Sciences of the USSR, 1956. – P. 103.
7. Allred B., Martinez L., Fessehazion M.K., Rouse G., Williamson T.N., Wishart D., Koganti T., Freeland R., Eash N., Batschelet A., Featheringill R. Overall results and key findings on the use of UAV visible-color, multispectral, and thermal infrared imagery to map agricultural drainage pipes // Agricultural Water Management. 2020. Vol. 232, 106036. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106036
8. Koganti T, Ghane E, Martinez LR, Iversen BV, Allred BJ. Mapping of Agricultural Subsurface Drainage Systems Using Unmanned Aerial Vehicle Imagery and Ground Penetrating Radar // Sensors (Basel). 2021 Apr 15; 21(8):2800. DOI: 10.3390/s21082800.
9. Ostapchuk G.B., Petrushin A.F., Mitrofanov E.P., Startsev A.S. Mapping of agricultural closed drainage systems using ultra-high spatial resolution satellite images / G.B. Ostapchuk., A.F. Petrushin, E.P. Mitrofanov, A.S. Startsev // Agrophysics. 2024. No. 1. P. 41-48. . Остапчук Г.Б. 10. Petrushin A.F., Yanko Yu.G., Mitrofanov O.A., Mitrofanov E.P. Determining the state of drainage systems using data of remote sensing in the north-west region of the Russian Federation // Agrophysics, No. 2, 2023. Pp. 39-44. EDN: JOVSLT
11. Roscosmos Geoportal [Electronic resource]. URL: <https://www.gptl.ru/> (date of access: 09.12.2024). – Access mode: by subscription.
12. Apollo Mapping. [Electronic resource]. URL: <https://imagehunter.apollomapping.com> (date of access: 28.02.2024).
13. Google Earth [Electronic resource]. URL: <https://earth.google.com/> (date of access: 28.02.2024).

Об авторе

Григорий Борисович Остапчук, канд. эконом наук; SPIN- 7905-9266; ID РИНЦ: 1268828; ost@agrophys.ru

¹ ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»; 195220, г. Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14, Россия

Критерии авторства / Criteria of authorship

Остапчук Г.Б. выполнил теоретические и практические исследования, на основании которых провел обобщение и написал рукопись. имеет на статью авторские права и несет ответственность за plagiat.

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 11.02.2025

Поступила после доработки и рецензирования / Received after peer review 05.10.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 05.10.2025

About the authors

Grigory B. Ostapchuk, CSs (Econ); SPIN- 7905-9266; RSCI ID: 1268828; ost@agrophys.ru

¹ Agrophysical Research Institute 14, Grazhdanskiy pr., St. Petersburg, Russia, 195220

Ostapchuk G.B. conducted theoretical and practical research, based on which he summarized and wrote the manuscript. He holds the copyright for the article and is responsible for any plagiarism.