

Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

Оригинальная статья

УДК 631.6:528.854

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2026-4-6-14>



ОПТИМИЗАЦИЯ ПЛАНА МЕЛИОРАТИВНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСА ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Г.Б. Остапчук

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»; Российская Федерация
ost@agrophys.ru; SPIN-код: 7905-9266

Аннотация. Цель исследований – разработка вопросов определения предполагаемого месторасположения устья закрытого коллектора в русле проводящего осушительного канала на основе комплекса данных дистанционного зондирования Земли из космоса (ДЗЗ) в условиях отсутствия проектно-исполнительной документации на строительство закрытой осушительной сети. Объектом исследований является часть осушенного закрытым дренажем поля участка мелиорации «Голино» Меньковского филиала ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт». Для достижения цели исследований была разработана классификация принципиальных схем расположения закрытой дренажной сети в плане, включающей в себя 8 типов. В основе указанной классификации лежат такие характеристики местности, как уклон, экспозиция склона, ширина участка осушенного поля и месторасположение проводящего осушительного канала. Для извлечения указанных характеристик был использован комплекс данных ДЗЗ: снимки с космических аппаратов «Ресурс-П», общедоступные цифровые модели рельефа FABDEM и SRTM (в сравнении), а также общедоступная крупномасштабная топографическая карта. Сравнением рельефа цифровых моделей с рельефом топографического плана установлено, что у модели FABDEM отсутствуют существенные искажения рельефа, имеющие место на модели SRTM в рассматриваемых условиях местности, а также применимость указанной модели для расчета уклона и экспозиции склона. Месторасположение проводящего осушительного канала установлено картированием по космическому снимку линейных сооружений с последующим уточнением их типов по данным крупномасштабной топографической карты. На основе перечисленных характеристик местности для участка осушенного поля определена принципиальная схема расположения закрытой дренажной сети в плане и соответственно ей установлен ключевой участок проводящего осушительного канала с предполагаемым месторасположением устья коллектора. Данными полевого обследования подтверждается наличие устья коллектора в указанном месте.

Ключевые слова: закрытый дренаж, обследование, устье закрытого коллектора, осушительный канал, космический снимок, Ресурс-П, ЦМР, SRTM, FABDEM

Формат цитирования: Остапчук Г.Б. Оптимизация плана мелиоративного обследования на основе комплекса данных дистанционного зондирования. Природообустройство. 2026;Т.19(4):6-14. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2026-4-6-14>

Scientific article

OPTIMIZATION OF THE RECLAMATION SURVEY PLAN BASED ON A SET OF REMOTE SENSING DATA

G.B. Ostapchuk

Agrophysical Research Institute 14, Grazhdanskiy pr., St. Petersburg, Russian Federation
ost@agrophys.ru; SPIN-code: 7905-9266

Abstract. The research focuses on detection of the collector outlet that is located in the bed of drainage channel using Earth remote sensing dataset (ERS) on condition that a design map of drainage network

is not available. The object of the research is a part of the drained agricultural field named “Golino” located within territory of the “Menkovo” experimental station that is a branch of Agrophysical Research Institute. For this purpose, the classification of the basic schemes for drainage pipe network was elaborated, included of 8 types. This classification based on such landscape characteristics as slope, slope exposure, wideness of the drained field plot and location of the drainage channel. For identification of specified features the ERS dataset was employed, including: Resurs-P satellite images, SRTM and FABDEM digital terrain models (in comparison) and publicly available large-scale topo map. Comparison of the relief obtained from digital terrain models with that obtained from topo map shows that FABDEM model has no significant elevation bias, opposite to the SRTM model in the considered landscape conditions, as well as applicability of the FABDEM model for the calculating of slope and slope exposure. The location of the main drainage channel was established by mapping linear structures on satellite image with farther identification of their types using large-scale topo map. Based on the landscape characteristics for indicated area, the basic scheme for drainage pipe network on specified drained field plot was identified. As a result a key section of main drainage channel that allocates expected collector outlet was detected. The field survey confirmed the presence of collector outlet in the indicated location.

Keywords: agricultural drainage pipes, survey, collector outlet, drainage channel, satellite image, Resurs-P, DEM, SRTM, FABDEM

For citation: Ostapchuk G.B. Optimization of the reclamation survey plan based on a set of remote sensing data. *Prirodoobustrojstvo*. 2026;19(4):6-14. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2026-4-6-14>

Введение. Проведение работ по реконструкции, капитальному ремонту и техническому обслуживанию закрытых мелиоративных систем предполагает наличие план-схемы гидротехнических сооружений на участок мелиорации [1, 2]. В условиях отсутствия такой план-схемы и безрезультатности ее восстановления дистанционными способами [3] возникает необходимость в проведении полевых поисковых работ по обнаружению устьевых и других сооружений закрытой мелиоративной системы для восстановления указанной схемы [1, 4]. Минимизация объема полевых работ по поиску устьев коллекторов может быть достигнута посредством сосредоточения указанных работ на ключевых участках проводящих осушительных каналов, а именно в местах предполагаемого месторасположения таких устьев.

Цель исследований: разработка вопросов определения предполагаемого месторасположения устьев коллекторов в русле проводящих осушительных каналов на основе комплекса данных ДЗЗ

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

1. Выявить характеристики местности, обуславливающие принципиальные схемы расположения закрытой дренажной сети в плане, и классифицировать указанные схемы.

2. Оценить пригодность общедоступных цифровых моделей рельефа для определения морфометрических характеристик рельефа – уклона местности и экспозиции склона по сторонам света для рассматриваемых условий местности.

3. Картировать проводящие осушительные каналы по данным ДЗЗ и общедоступной электронной крупномасштабной топографической карте.

4. Составить для участка осушенного поля план-схему вероятного месторасположения устья коллектора в русле проводящего осушительного канала и сопоставить ее с данным полевого обследования.

Материалы и методы исследований.

Объектом исследования является часть осушенного закрытым дренажем поля № 5 участка мелиорации «Голино» (участок осушенного поля) Меньковского филиала ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»; географические координаты центра участка 59°24'45»с.ш., 29°59'48»в.д.

Материалы исследования представлены: а) высокодетальными архивными снимками, полученными с космического аппарата «Ресурс-П» № 1 с датами съемки 17.05.2017 г. и 15.06.2017 г. (космические снимки) [5, 6]; б) цифровыми моделями рельефа (FABDEM V1-2) [7] и местности (SRTM V4) [8] (цифровые модели рельефа); в) электронной копией проектного плана на строительство участка мелиорации и г) результатами полевого обследования устьев коллекторов участка мелиорации «Голино».

Выбор указанных цифровых моделей обусловлен их общедоступным характером, причем модель SRTM является широко распространенной, имеющей высокую точность для открытой местности [9], а модель FABDEM качественно отличается от нее наличием поправок на высоту древостоя лесных массивов, строений

и сооружений для отображения рельефа под указанными объектами местности [10].

Разработка классификации принципиальных схем расположения закрытой дренажной сети в плане осуществлена на основе анализа требований к проектированию мелиоративных систем [11] с выделением из их числа тех, которые обусловлены характеристиками местности, и последующей типизации таких характеристик для составления указанной классификации.

Определение экспозиции склона для участка осушенного поля выполнено по цифровым моделям рельефа посредством построения горизонталей в ГИС QGIS (функция «Создать изолинии») с последующим анализом полученного изображения рельефа. Расчет уклона местности выполнен картометрическим способом по указанным моделям. Оценка пригодности цифровых моделей рельефа осуществлена сопоставлением рассчитанных по ним морфометрических характеристик рельефа с аналогичными, полученными по выкопировке рельефа с проектного плана (топографического плана).

Картирование проводящих осушительных каналов осуществлено в два этапа: 1) обнаружением и картированием на космическом снимке линейных сооружений, расположенных вблизи границ участка осушенного поля; 2) вычленением из их числа сооружений, не относящихся к проводящим осушительным каналам, на основе данных единой электронной картографической основы (ЕЭКО, топографическая карта) в ГИС АКЦИОМА; дополнительно по указанной карте определено местоположение водоприемника.

План-схема месторасположения ключевого участка проводящего осушительного канала с предполагаемым месторасположением устья коллектора составлена на основе анализа совокупности установленных по данным ДЗЗ сведений о характеристиках местности участка осушенного поля, выбора отвечающего таким характеристикам варианта принципиальной схемы расположения закрытой дренажной сети в плане и определения на основе такой схемы ключевого участка проводящего осушительного канала.

Анализ данных ДЗЗ, картометрические работы и составление план-схем выполнены в ГИС QGIS.

Результаты и их обсуждение. Разработка принципиальных схем расположения закрытой дренажной сети в плане. К требованиям строительного проектирования [11], оказывающим влияние на пространственную конфигурацию закрытой осушительной сети, можно отнести: 1) расположение регулирующей закрытой

дренажной сети (дрен) поперек склона или при уклоне менее 0,005 вдоль него; 2) предельную протяженность дрен от 50 до 250 м; 3) двух- или одностороннее подсоединение дрен к коллектору с преимуществом двухстороннего подсоединения и 4) проектирование трассы коллектора по наиболее низким отметкам местности при его минимальной протяженности.

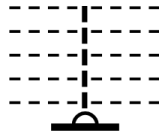
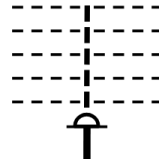
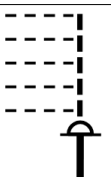
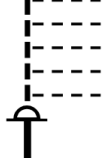
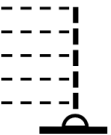
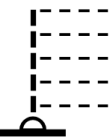
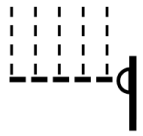
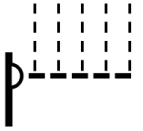
Представленные требования позволяют установить характеристики местности, в отношении которых эти требования применимы. К таким характеристикам, влияющим на схему расположения закрытой дренажной сети в плане, следует отнести величину уклона местности, обуславливающую выбор одной из двух возможных схем расположения закрытой регулирующей сети в плане, и ширину поля (перпендикулярную направлению склона сторону поля), обуславливающую возможность двух- или одностороннего подсоединения дрен к коллектору с учетом их предельной длины.

Ключевой характеристикой местности, предопределяющей фактическую пространственную конфигурацию закрытой осушительной сети как результата ее строительства, является месторасположение проводящего осушительного канала, обслуживающего рассматриваемую закрытую осушительную сеть, в границах участка осушенного поля. При известной экспозиции склона вариации месторасположения такого канала могут быть сведены к 4 типам: вдоль нижней границы участка осушенного поля, вдоль боковых сторон участка с отступом от его верхней границы и в центре участка параллельно его боковым сторонам с отступом от верхней границы. Группировка характеристик местности и построенная на ее основе классификация принципиальных схем расположения закрытой осушительной сети в плане представлены в таблице 1.

Как видим, при известном местоположении проводящего осушительного канала, ширины поля, уклона и экспозиции склона возможны 8 типов принципиальных схем расположения закрытой дренажной сети в плане. Для схем, в которых проводящий осушительный канал проходит вдоль нижней границы поля (схемы № 5 и № 6), уточнение направления руслового стока в канале и, соответственно, выбор одной из указанных схем могут быть осуществлены по местоположению водоприемника относительно краев осушенного поля и направлению его течения. Схемы № 1, № 2, № 7 и № 8 позволяют обслуживать участки поля шириной более 250 м: в отношении схем № 1 и № 2 – благодаря применению более экономичной двухсторонней

Таблица 1. Классификация принципиальных схем расположения закрытой дренажной сети в плане

Table 1. Classification of schematic diagrams of the location of a closed drainage network in the plan

№№	Характеристики местности								Схема	Описание схемы
	расположение канала в границах осушенного поля				ширина поля		уклон			
					менее 250 м	более 500 м	менее 0,005	более 0,005		
1				•	•	•		•		поперечная с 2-сторонним подсоединением дрен к коллектору и устройством устья на линейном участке канала
2	•				•	•		•		поперечная с 2-сторонним подсоединением дрен к коллектору и устройством устья в истоке канала
3	•	•			•			•		поперечная с правосторонним подсоединением дрен к коллектору и устройством устья в истоке канала
4	•		•		•			•		поперечная с левосторонним подсоединением дрен к коллектору и устройством устья в истоке канала
5				•	•			•		поперечная с правосторонним подсоединением дрен к коллектору и устройством устья на линейном участке канала
6				•	•			•		поперечная с левосторонним подсоединением дрен к коллектору и устройством устья на линейной участке канала
7		•			•	•	•			продольная с устройством устья справа в истоке канала или на его линейном участке
8			•		•	•	•			продольная с устройством устья слева в истоке канала или на его линейном участке

Условные обозначения:  – устье коллектора.

Примечание. Схемы составлены для южной экспозиции склона; углы сопряжения дрен с коллектором и коллектора с проводящим осушительным каналом обобщены.

Legend:  – collector outlet.

Note. Diagrams are drawn for the southern exposure of the slope; the angles of interface of drains with the collector and the collector with the conductive drainage channel are generalized.

схемы подсоединения дрен к коллектору, а в отношении схем № 7 и № 8 – за счет отсутствия ограничения в протяженности коллектора при условии устройства смотровых колодцев на его трассе в случае превышения длины коллектора более 1 км.

Оценка пригодности цифровых моделей рельефа для расчета морфометрических характеристик рельефа. Изображение рельефа цифровых моделей, построенное способом горизонталей, и выкопировка рельефа с топографического плана для участка осушенного поля представлены на рисунке 1.

Как следует из топографического плана (рис. 1а), участок осушенного поля имеет северо-западную экспозицию склона; аналогичную экспозицию указанный участок имеет на модели FABDEM (рис. 1в); отличную от них – западную – на модели SRTM (рис. 1б). Анализ рельефа модели SRTM показывает, что несоответствие на ней экспозиции склона топографическому плану вызвано резким увеличением высотных отметок: с середины участка осушенного поля к его нижней границе, смежной с лесным массивом. Такое расхождение высотных отметок можно объяснить влиянием высоты древостоя лесного массива на высотные отметки для части участка осушенного поля [12].

Следует отметить, что сравнение модели FABDEM с топографическим планом выявляет большую степень генерализации рельефа указанной модели. Это приводит к частичной

или полной утрате на модели таких элементов рельефа, как ложбины.

Значения величины уклона местности для участка осушенного поля, рассчитанные по цифровым моделям рельефа и топографическому плану, представлены в таблице 2.

Как видим, величина уклона местности, рассчитанная по топографическому плану (рис. 1а), составляет 0,011; близкое к этому значению указанная величина имеет на модели FABDEM – 0,009; значительно расходится с ней на модели SRTM, имея значение –0,015 (обратный уклон). Такое расхождение высотных отметок, имеющее место на модели SRTM в отличие от топографического плана, исключает возможность получения достоверных сведений об уклоне местности для топографических условий участка осушенного поля.

Таким образом, расчет уклона и экспозиции склона в целях представленных исследований выполнены по цифровой модели рельефа FABDEM как модели, наиболее полно в существующих условиях местности (смежества участка осушенного поля с лесным массивом) соответствующей рельефу топографического плана.

Измеренная ширина поля участка осушенного поля стороны «ВС» (рис. 1а) составила 168,5 м.

Картирование проводящих осушительных каналов. Результаты картирования проводящих осушительных каналов представлены на рисунке 2.

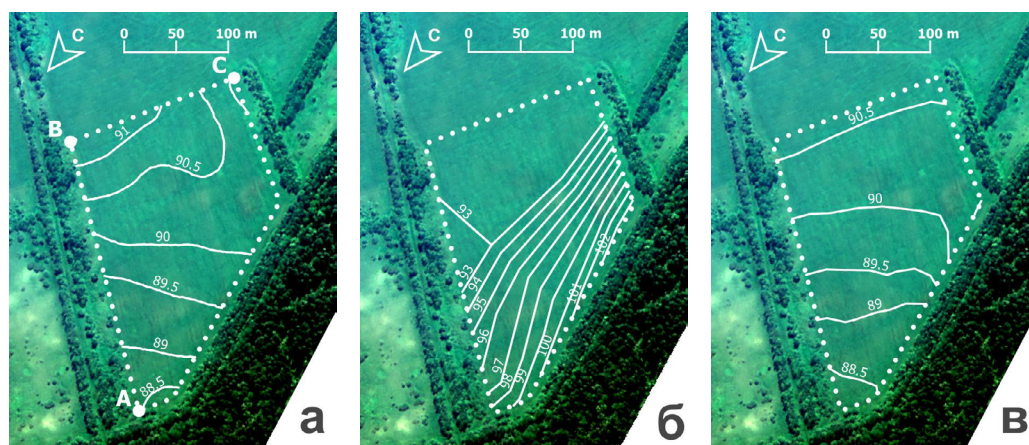


Рис. 1. Рельеф, построенный по цифровым моделям рельефа, и выкопировка рельефа с топографического плана:

- а) выкопировка рельефа с топографического плана; б) рельеф модели SRTM; в) рельеф модели FABDEM
Условные обозначения. Пунктирная линия – граница участка осушенного поля (без включения осушительных каналов).

Примечание. На рисунках а и в шаг горизонталей составляет 0,5 м, на рисунке б – 1,0 м

Fig. 1. Relief built according to digital relief models and copying the relief from the topographic plan

Legend: dotted line – the border of the drained field area (without the inclusion of drainage channels).

Note: in Figures а and с, the spacing of the contours is 0.5 m, in Figure б it is 1.0 m.

- а) a copy of the relief from the topographic plan; б) the relief of the SRTM model; в) the relief of the FABDEM model

Таблица 2. Расчет уклона местности для участка осушенного поля по цифровым моделям рельефа и топографическому плану

Table 2. Calculation of the terrain slope for a drained field section using digital relief models and a topographic plan

Модель рельефа	Расчет уклона местности			
	высотные отметки, м		протяженность стороны АВ, м	уклон
	в точке А	в точке В		
SRTM	97,00	93,00	265,9	–0,015
FABDEM	88,35	90,80		0,009
Топографический план	88,5	91,4		0,011

Примечание. Обозначение точек – согласно рисунку 1а.

Note. Point designations are in accordance with Figure 1a.

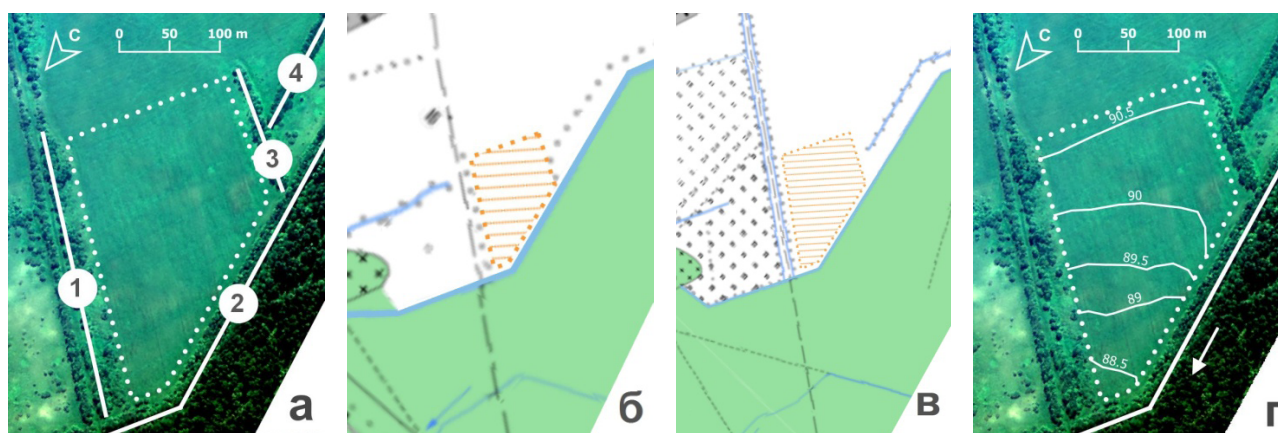


Рис. 2. Картирование проводящего осушительного канала на участке осушенного поля:

- а) план-схема картированных линейных сооружений;
- б) схема участка осушенного поля на ЕЭКО, уровень масштаба – 14;
- в) схема участка осушенного поля на ЕЭКО, уровень масштаба – 15;
- г) план-схема картированного проводящего осушительного канала

Условные обозначения для космических снимков:

Пунктирная линия – граница участка осушенного поля (без включения осушительных каналов);
сплошные линии – картированные линейные сооружения и их номера

Fig. 2. Mapping of the conductive drainage channel in the area of the drained field

- a) a plan of mapped linear structures; b) a scheme of the drained field site at the EECO, scale level 14;
- c) a scheme of the drained field site at the EECO, scale level 15;
- d) a plan-scheme of the mapped conductive drainage channel.

Legend (on the satellite images): dotted line – the border of the drained field area (without the inclusion of drainage canals); solid lines – mapped linear structures and their numbers

Анализ космического снимка показывает, что вдоль нижней и боковых границ участка осушенного поля имеются линейные объекты местности, обозначенные №№ 1-4 на рисунке 2а и представляющие собой полосы древесно-кустарниковой растительности. При этом по нижней границе участка такая полоса (№ 2) обнаруживается по тону растительности, отличному от тона растительности смежного с ним участка леса.

Анализ крупномасштабных топографических карт позволяет установить тип указанных линейных объектов местности. Так, вдоль

нижней стороны участка таким объектом (№ 2) является осушительный канал, (рис. 2б); вдоль левой стороны – придорожный кювет, заросший древесно-кустарниковой растительностью (линейный объект № 1) (рис. 2в). Линейный объект № 3 вдоль правой стороны участка осушенного поля также следует отнести к осушительным каналам, так как смежный с ним аналогичный объект № 4 обозначен на крупномасштабной топографической карте условным знаком такого сооружения (рис. 2в). Линейный объект № 4 на топографической карте более мелкого масштаба (рис. 2б) обозначен как лесополоса,

что указывает на целесообразность совместного использования топографических карт разных масштабов.

Таким образом, с учетом северо-западной экспозиции склона к проводящему осушительному каналу, обслуживающему закрытую осушительную сеть на рассматриваемом участке осушенного поля, следует отнести осушительный канал (№ 2), расположенный вдоль нижней границы участка (рис. 2а), обеспечивающий отвод дренажного стока как с рассматриваемого участка поля, так и с участков выше по рельефу. Направление течения в проводящем осушительном канале уточнено по направлению течения водоприемника, обозначенному на топографической карте (рис. 2б), и месторасположению устья канала в его русле.

Необходимо отметить, что отсутствие на топографической карте сведений о месторасположении проводящего осушительного канала и невозможность его дешифрирования по космическому снимку, например, ввиду расположения канала в лесном массиве и(или) его малой протяженности или по другим причинам, является препятствием для определения ключевого участка с предполагаемым месторасположением устья

коллектора в русле проводящего осушительного канала. В таких случаях поисковые работы сначала необходимо направить на обнаружение месторасположения проводящего осушительного канала.

Составление план-схемы предполагаемого месторасположения устья коллектора и ее верификация. Полученные в результате анализа данных ДЗЗ и крупномасштабной топографической карты сведения о характеристиках местности для участка осушенного поля, а именно: а) месторасположении проводящего осушительного канала – вдоль его нижней границы; б) северо-западной экспозиции склона; в) о величине уклона местности 0,009; г) ширине осушенного поля 168,5 м (рис. 3а), – позволяют на основе разработанной классификации установить вариант принципиальной схемы расположения закрытой дренажной сети в плане для указанного участка.

Как следует из данных таблицы 1, перечисленным характеристикам местности отвечает схема № 6 – поперечная схема с левосторонним подсоединением дрен к коллектору и устройством устья на линейной участке канала. Соответственно пространственной конфигурации

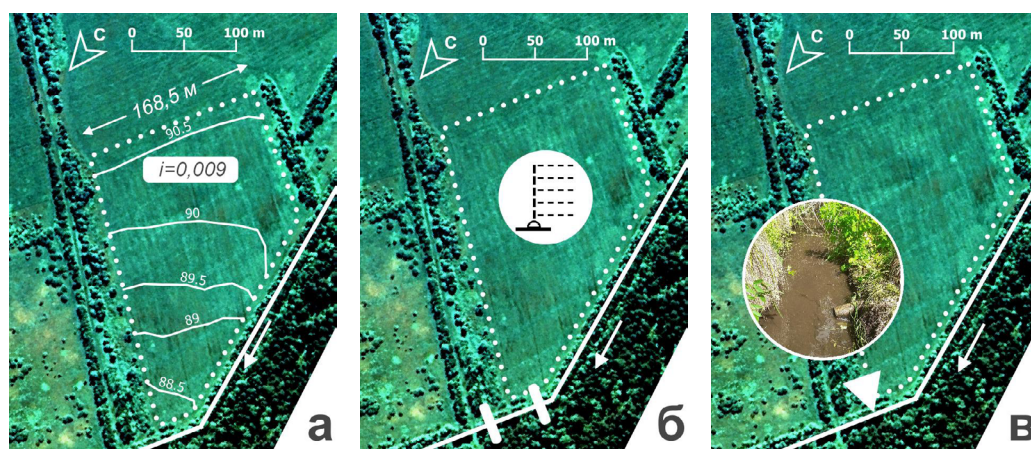


Рис. 3. План-схема предполагаемого месторасположения устья коллектора в русле проводящего осушительного канала и результаты полевого обследования:

- а) план-схема участка осушенного поля с характеристиками местности, установленными по данным ДЗЗ; б) план-схема месторасположения ключевого участка и пиктограмма принципиальной схемы;
- в) план-схема месторасположения устья коллектора и фотография обнаруженного устья.

Фото на рисунке в авторов: Остапчук Г.Б., Старцев А.С.

Условные обозначения. На рисунке б двумя полосами обозначены границы ключевого участка; вершиной треугольника на рисунке в – обнаруженное устье коллектора

Fig. 3. Plan-scheme of the proposed location of the collector outlet in the bed of the conductive drainage channel and the results of the field survey

- a) a plan-scheme of the drained field area with the characteristics of the area established according to remote sensing data; b) a plan of the location of the key section and a pictogram of the schematic diagram;
- c) a plan of the location of the collector outlet and a photograph of the discovered outlet

Legend: in Figure b, two stripes indicate the boundaries of the key section; the apex of the triangle in Figure c is the discovered collector outlet.

Photo in Figure c: Ostapchuk G.B., Startsev A.S

указанной схемы предполагаемое месторасположение устья коллектора находится на участке проводящего осушительного канала, примыкающего к левой боковой границе участка осушенного поля (рис. 3б).

Перспективы совершенствования работ по определению ключевых участков проводящих осушительных каналов. Расчет величины уклона местности и определение экспозиции склона по сторонам света на основе цифровых моделей рельефа, как показано в работе [13], могут быть автоматизированы в ГИС.

Формализация характеристик местности и типизация принципиальных схем расположения закрытой осушительной сети в плане, выполненные в работе, при наличии исходных данных о границах участка осушенного поля и местоположении проводящего осушительного канала могут быть использованы в качестве основы для автоматизации в ГИС процесса определения ключевого участка проводящего канала по цифровой модели рельефа.

Выводы

1. Разработанная классификация принципиальных схем расположения закрытой сети в плане позволяет на основе сведений о характеристиках местности обследуемого участка осушенного поля оптимизировать план мелиоративного обследования проводящих осушительных каналов в его границах в целях обнаружения устьев коллекторов в условиях отсутствия проектно-исполнительной документации. Перечень указанных характеристик местности включает в себя местоположение проводящего осушительного канала относительно границ осушенного

поля и направление его течения, уклон и экспозицию склона, а также ширину поля. Источником сведений об указанных характеристиках может выступать данных ДЗЗ, в который входят высокодетальный снимок с космического аппарата «Ресурс-П», цифровая модель рельефа FABDEM, а также электронная общедоступная крупномасштабная топографическая карта.

2. Сравнением рельефа цифровых моделей с рельефом топографического плана установлено, что у модели FABDEM отсутствуют существенные искажения рельефа, имеющие место на модели SRTM в рассматриваемых топографических условиях местности, а также применимость указанной модели для расчета уклона и экспозиции склона.

3. Месторасположение проводящего осушительного канала, обслуживающего закрытую дренажную сеть, расположенную на участке осушенного поля, установлено картированием по космическому снимку линейных сооружений, выявленных вблизи границ указанного участка, с последующим уточнением их типа по данным общедоступной крупномасштабной топографической карты.

4. На основе характеристик местности, полученных в результате анализа комплекса данных ДЗЗ, для участка осушенного поля была определена принципиальная схема расположения закрытой дренажной сети в плане и в соответствии с ней установлен ключевой участок проводящего осушительного канала с предполагаемым месторасположением устья коллектора. Данными полевого обследования подтверждается наличие устья коллектора в указанном месте.

Список использованных источников

1. Временные рекомендации по реконструкции осушительных систем в Нечерноземной зоне РСФСР. Л.: СевНИИГиМ, 1989. 70 с.
2. Рекомендации по восстановлению работоспособности закрытого дренажа осушительных систем. Под общей редакцией Н.Н. Дубенка, А.И. Иванова, В.И. Штыкова. СПб: ФГБНУ АФИ, 2025. 69 с.
3. Остапчук Г.Б., Петрушин А.Ф., Митрофанов Е.П., Старцев А.С. Картирование закрытого трубчатого дренажа по космическим снимкам сверхвысокого пространственного разрешения // Агрофизика. 2024. № 1. С. 41-48.
4. Гулюк Г.Г., Янко Ю.Г., Штыков В.И., Черняк М.Б., Петрушин А.Ф. Руководство по мелиорации полей. СПб: ФГБНУ АФИ, 2020. 217 с.
5. Геопортал Роскосмоса: сайт. Москва. URL: <https://www.gptl.ru/> (дата обращения: 09.12.2024). Режим доступа: по подписке.
6. Руководство пользователя данными дистанционного зондирования Земли, получаемыми с космической системы «Ресурс-П». Версия 1. Москва, 2023. 150 с. URL:

References

1. Temporary recommendations for the reconstruction of drainage systems in the Non-chernozem of the RSFSR. L.: SevNIIGiM, 1989. 70 p.
2. Guidelines for restoring closed drainage systems to normal operation. Edited by N.N. Dubenk, A.I. Ivanov, and V.I. Shtykov. St. Petersburg: FGBNU AFI, 2025. 69 p.
3. Ostapchuk G.B., Petrushin A.F., Mitrofanov E.P., Startsev A.S. Mapping of agricultural subsurface drainage systems using high spatial resolution satellite images // Agro-physics. 2024. No. 1. P. 41-48.
4. Gulyuk G.G., Yanko Yu.G., Shtykov V.I., Chernyak M.B., Petrushin A.F. Field reclamation Guidelines. St. Petersburg: FGBNU AFI, 2020. 217 p.
5. Roscosmos Geoportal [Electronic resource]. URL: <https://www.gptl.ru/> (date of access: 09.12.2024). Access mode: by subscription.
6. User's Guide to Earth Remote Sensing Data Obtained from the Resurs-P Space System. Version 1. Moscow, 2023. 150 p. URL: <https://www.roscosmos.ru/media/files/2024/rukovodstvo.pol.zovatela.dannimi.dzz.polucaemimi.s.ks.resurs-p.pdf> (date of access: 19.08.2025).

<https://www.roscosmos.ru/media/files/2024/rukovodstvo.pol.zovatela.dannimi.dzz.polucaemimi.s.ks.resurs-p.pdf> (дата обращения: 19.08.2025).

7. FABDEM V1-2 dataset. Bristol, 2023. URL: <https://data.bris.ac.uk/data/dataset/s5hqmjcdj8yo2ibzi9b4e-w3sn> (дата обращения: 19.09.2025).

8. SRTM 90 m DEM Version 4 Database, 2008. URL: <https://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/> (дата обращения: 14.01.2026).

9. Uuemaa E., Ahi S., Montibeller B., Muru M., Knoch A. Vertical Accuracy of Freely Available Global Digital Elevation Models (ASTER, AW3D30, MERIT, TanDEM-X, SRTM, and NASADEM) // *Remote Sensing*. 2020, 12(21), 3482.

10. Hawker L., Uhe P., Paulo L., Sosa J., Savage J., Sampson C., Neal J. A 30 m global map of elevation with forests and buildings removed // *Environmental Research Letters* Vol. 17 № 2, 2022. 024016. DOI: 10.1088/1748-9326/ac4d4f.

11. Свод правил СП 100.13330.2016 «СНиП 2.06.03-85 Мелиоративные системы и сооружения» URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/13876/> (дата обращения: 08.10.2025).

12. Рыбников П.А., Смирнов А.Ю. Анализ качества цифровых моделей рельефа на основе данных дистанционного зондирования Земли для рельефа овражно-балочного типа // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2021. № 5-1. С. 235-247. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_51_0_235. EDN: OGZTIL

13. Кузнецова А.С., Пушкарев А.А., Краснощеков К.В. [и др.]. Применение FABDEM и других современных цифровых моделей рельефа в системе аграрного мониторинга // *Информационные и математические технологии в науке и управлении*. 2023. № 4(32). С. 139-147. DOI: 10.25729/ESI.2023.32.4.012. EDN: UVYRVI

7. FABDEM V1-2 dataset. Bristol, 2023. URL: <https://data.bris.ac.uk/data/dataset/s5hqmjcdj8yo2ibzi9b4e-w3sn> (date of access: 19.09.2025).

8. SRTM 90 m DEM Version 4 Database, 2008. URL: <https://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/> (date of access: 14.01.2026).

9. Uuemaa E., Ahi S., Montibeller B., Muru M., Knoch A. Vertical Accuracy of Freely Available Global Digital Elevation Models (ASTER, AW3D30, MERIT, TanDEM-X, SRTM, and NASADEM) // *Remote Sensing*. 2020, 12(21), 3482.

10. Hawker L., Uhe P., Paulo L., Sosa J., Savage J., Sampson C., Neal J. A 30 m global map of elevation with forests and buildings removed // *Environmental Research Letters* Vol. 17 № 2, 2022. 024016. DOI: 10.1088/1748-9326/ac4d4f.

11. Code of practice CP 100.13330.2016 “SNiP 2.06.03-85 Reclamation systems and structures” URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/13876/> (date of access: 08.10.2025).

12. Rybnikov P.A., Smirnov A.Yu. Quality analysis of digital terrain models by the remote sensing data: A case-study of the gully-ravine relief // *Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2021. No. 5-1. P. 235-247. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_51_0_235.

13. Kuznetsova A.S., Pushkarev A.A., Krasnoshchekov K.V., Yakubailik O.E., Erunova M.G. Application of FABDEM and other modern digital elevation models in the agricultural monitoring system // *Information and mathematical technologies in science and management*. 2023. No. 4(32). P. 139-147 DOI: 10.25729/ESI.2023.32.4.012.

Информация об авторе

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

Information about the Author

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

Поступила в редакцию / Received 24.02.2026

Поступила после рецензирования / Received 21.08.2026

Принята к публикации после доработки / Accepted 25.08.2026