

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РЕЛЬЕФА ОСУШИТЕЛЬНО-УВЛАЖНИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА РЕГУЛИРОВАНИЕ ВОДНОГО РЕЖИМА ПОЧВ ШЛЮЗОВАНИЕМ

*А. П. Лихацевич, доктор технических наук  
Л. Н. Оскирко, старший научный сотрудник  
Г. В. Латушкина, кандидат технических наук*

*РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь*

### Аннотация

Практика эксплуатации мелиоративных систем свидетельствует, что по условиям рельефа не на всей площади осушительно-увлажнительных систем можно осуществить оптимальное управление водным режимом почвы. Оценка влияния рельефа на проведение эффективного увлажнительного шлюзования состоит в определении той части мелиорированной площади, на которой по условиям рельефа возможно создание благоприятного водного режима путем регулирования уровня грунтовых вод. Приводится способ расчетов площади с управляемым водным режимом на основе применения ГИС.

**Ключевые слова:** осушительно-увлажнительная система, водный режим почвы, уровни грунтовых вод, рельеф, подпорное сооружение.

### Abstract

*A. P. Likhatchevich, L. N. Oskirko, G. V. Latushkina*

### INFLUENCE ASSESSMENT OF THE DRAINAGE AND HUMIDIFYING SYSTEM RELIEF ON THE REGULATION OF THE SOILS WATER REGIME BY SLUICING

The practice of operating reclamation systems indicates that, according to the relief conditions, not the entire area of drainage and humidification systems can be optimally manage the water regime of soil. Relief influence assessment when conducting humidification sluicing consists in determining the part of the reclaimed area on which, according to the conditions of the relief, it is possible to create a favorable water regime by regulating the groundwater level. A method for determining the area with a managed water regime using GIS is given.

**Keywords:** drainage and humidifying system, soil water regime, groundwater levels, relief, water retaining structure.

### Введение

Согласно результатам инвентаризации по состоянию на 1 января 2019 г., осушительно-увлажнительные системы (далее – ОУС) с наличием водоисточников (реки, водохранилища, пруда, транспортирующего канала), используемых для увлажнения осушаемых земель, занимали в Беларуси площадь около 176 тыс. га. Эти ОУС построены более 30 лет назад, сосредоточены в основном в Полесском регионе и как любые инженерные системы нуждаются в ремонте, реконструкции и периодической переоценке их ресурсов в аспекте возможности поддержания такого водного режима мелиорируемых почв, который обеспечит условия для интенсивного сельскохозяйственного производства.

Особая сложность эксплуатации ОУС в Полесье состоит в том, что в ходе сельскохозяй-

ственного использования мелиорируемых земель этого региона (в основном это осушенные торфяники) водно-физические свойства почв значительно изменяются. К настоящему времени около четверти осушенных торфяников уже утратили исходные генетические признаки и превратились в новые почвенные образования – так называемые антропогенно преобразованные органоминеральные почвы. В процессе трансформации произошла неравномерная осадка поверхности торфяной почвы, приведшая к развитию микрорельефа, включающего понижения и повышения площадью до 1 000 м<sup>2</sup> с перепадом высот 5–100 см [1]. Это существенно затрудняет регулирование водного режима на всей площади ОУС.

Очевидно, что в подобных условиях потенциальную возможность увлажнения осушен-

ных земель можно определить только после комплексной оценки технического состояния каждой мелиоративной системы как объекта управления водным режимом и лишь после этого можно устанавливать на конкретной ОУС технологический уровень управления водным режимом. На эффективность управления уровнями грунтовых вод с помощью увлажнения шлюзованием влияют два основных вида

### Оценка ресурса рельефа с применением различных методов интерполяции

Из-за неровности рельефа на участках регулирования водного режима в пониженных местах могут наблюдаться переувлажнение почвы и даже выход воды на поверхность, а на возвышениях – недоувлажнение. При оценке рельефа в части возможности создания благоприятного водного режима на мелиоративном объекте с помощью шлюзования используется показатель «ресурс рельефа» [2, 3]. Критериями его оценки служат допустимые диапазоны регулирования УГВ ( $H_{\min}$ ,  $H_{\max}$ ) от поверхности земли [4, 5]. При  $H_{\min}$  влажность почвы в нижней части корнеобитаемого слоя не превышает наибольшей допустимой величины (при шлюзовании сети в засушливый период или при работе сети на сброс в период затяжных дождей). При  $H_{\max}$  влажность почвы в верхней части корнеобитаемого слоя при шлюзовании сети в засушливый период не опускается ниже наименьшей допустимой величины.

Для оценки ресурса рельефа осушительно-увлажнительная система делится на участки регулирования, каждый из которых подконтролен головному подпорному сооружению, обеспечивающему управление водным режимом почвы на участке.

Для  $i$ -го участка ОУС ресурс рельефа ( $R_{pi}$ ) составит

$$R_{pi} = 100 \frac{F_{\text{эф. } i}}{F_{\text{уч. } i}}, \% \quad (1)$$

где  $F_{\text{эф. } i}$  – часть площади  $i$ -го участка регулирования, на которой обеспечивается эффективное увлажнение, га;  $F_{\text{уч. } i}$  – вся площадь  $i$ -го участка ОУС, га.

В целом для ОУС ресурс рельефа ( $R_p$ ) определяется как отношение суммарной площади с эффективным увлажнением всех участков регулирования к общей площади ОУС, на ко-

ресурсов: природные ресурсы (ресурс вод источника, морфометрические характеристики объекта, гидрогеологические условия на ОУС, почвенный покров) и техногенные ресурсы (техническое состояние мелиоративной системы и ее элементов, уровень эксплуатации ОУС и интенсивность сельхозпроизводства на мелиорированных землях) [2].

торой запроектировано двустороннее регулирование водного режима [2, 3]:

$$R_p = 100 \frac{\sum^n F_{\text{эф. } i}}{F_{\text{ОУС}}}, \% \quad (2)$$

где  $n$  – количество участков регулирования,  $F_{\text{ОУС}}$  – площадь ОУС, га.

Процесс определения ресурса рельефа начинается с того, что на каждом участке регулирования рассчитывается максимальная отметка поверхности ( $\nabla \Pi_{\max}$ ), ниже которой почвенные запасы корнеобитаемого слоя почвы участка могут пополняться за счет капиллярного подпитывания от грунтовых вод, установившихся при закрытии затвора командного подпорного сооружения [3]:

$$\nabla \Pi_{\max} = \nabla \text{НПУ} - d + H_{\max}, \quad (3)$$

где  $\nabla \text{НПУ}$  – отметка нормального подпорного уровня верхнего бьефа командного сооружения при закрытом затворе, м;  $H_{\max}$  – максимально допустимая глубина понижения грунтовых вод для возделываемых культур, м;  $d$  – разность между уровнями почвенно-грунтовых вод над дренами (у каналов) и посередине между увлажнителями в условиях установившейся депрессионной кривой в период максимального водопотребления сельскохозяйственных культур (можно принять равной 0,20–0,30 м) [6];

$$H_{\max} = h_{\text{эф. к. п.}} + h_{\text{к. с.}}, \quad (4)$$

где  $h_{\text{эф. к. п.}}$  – высота эффективного капиллярного поднятия влаги от УГВ, м (зависит от типа почвогрунтов (табл. 1);  $h_{\text{к. с.}}$  – мощность корнеобитаемого слоя, м (табл. 2).

Минимально допустимые отметки поверхности участка регулирования ( $\nabla \Pi_{\min}$ ), при которых влажность почвы в нижней части кор-

необитаемого слоя не превышает допустимой величины (при шлюзовании сети в засушливый период или работе сети на сброс в период затяжных дождей), должны приниматься исходя

из того, что уровни в водоподводящих и распределительных каналах следует располагать ниже поверхности не менее чем на 0,3–0,4 м [4, 5]:

$$\nabla\Pi_{\min} = \nabla\Pi_{\text{ПУ}} + 0,3, \text{ м.} \quad (5)$$

Таблица 1. Высота активного капиллярного поднятия  $h_{\text{эф.к.п.}}$  [7]

Почвогрунт	Высота эффективного капиллярного поднятия, см
Торф среднеразложившийся	50–60
Песок рыхлый	25–30
Песок пылеватый	40–60
Супесь	60–70
Суглинки легкие	70–80
Суглинки пылеватые	60–70

Таблица 2. Мощность корнеобитаемого слоя на осушенных землях, см

Культура	Почвы	
	минеральная	торфяная
Свекла кормовая и сахарная, капуста поздняя, морковь	70	65
Картофель	65	60
Кукуруза	60	50
Зерновые	50	40
Многолетние травы	40	30

Если на участке регулирования возделывается несколько культур, то в расчете по (4) используют данные по мощности корнеобитаемого слоя наиболее ценной для землепользователя культуры, расположенной на этом участке.

Вычисление площади участков, лежащих в пределах допустимого диапазона ( $\nabla\Pi_{\max} - \nabla\Pi_{\min}$ ), можно произвести на основе цифровой модели рельефа (далее – ЦМР): например, в программе ArcGIS с помощью инструмента *ArcToolbox Raster Calculator* и использованием команды («ЦМР» <  $\nabla\Pi_{\max}$ ) & («ЦМР» >  $\nabla\Pi_{\min}$ ).

Исходные данные о рельефе объекта можно получить из проектных топографических планов масштаба 1:2 000. Рельеф на таких топографических планах отображается высотными отметками и горизонталями, которые со временем теряют свою актуальность: чем больше прошло времени после съемки, тем менее точно отображается рельеф на топо-

графическом плане. Это вызывает необходимость проведения повторной топографической съемки участков регулирования водного режима почвы.

В настоящее время к основным методам проведения наземной горизонтальной и высотной топографической съемки относятся: тахеометрия, съемка с применением приемников систем спутниковой навигации (GNSS), в том числе в RTK-режиме, а также сочетание этих методов, рекомендуемых СН 1.02.01-2019 «Инженерные изыскания для строительства» [8].

На основании массива точек высот, полученных в результате таких съемок в программном обеспечении САПР либо ГИС (CREDO, AutoCAD, ArcGIS и т. п.), с применением различных методов интерполяции строятся триангуляционные (TIN) или растровые цифровые модели рельефа, по которым генерируются горизонтали с необходимым сечением. Для расчета площадей в определенных диапазонах отметок ранее использовались простей-

шие способы – графический и механический (с помощью планиметра), а сейчас релеванты методы с использованием различных компьютерных программ.

Площади с потенциально эффективным увлажнением суммируются для всех участков регулирования. Таким образом находят числитель формулы (2), а далее и ресурс рельефа.

При обследовании рельефа поверхностей участков регулирования важно соблюдать корректную пространственную и высотную привязку собираемых данных при помощи геодезических приборов и доступной картографической информации (топографическая основа, тематические карты). Топографическая съемка участков может быть выполнена наземными или аэротопографическими методами [8].

Аэротопографические методы – это стереотопографическая съемка, цифровая аэрофото-съемка с применением беспилотных летательных аппаратов. На основе данных методов ЦМР строится по плотному облаку точек, получаемому путем обработки данных различных сенсоров летательных аппаратов. Заданная плотность точек, полученных с помощью аэротопографических методов, позволяет получить указанную модель наиболее приближенной к реальной поверхности участка вплоть до выделения объектов микрорельефа, пропущенных

при построении ЦМР по результатам наземной топографической съемки.

Если нет технической или материальной возможности провести повторную топографическую съемку, контролировать изменения рельефа участка регулирования можно упрощенным методом при помощи нивелирования по створам. Точность результатов будет зависеть от выбранного расстояния между створами и пикетами нивелирования.

Подбираются старые материалы о рельефе; если нужно, выполняется их оцифровка, векторизация отметок и горизонталей; затем строится цифровая модель рельефа (рис. 1). На данном участке регулирования осуществляется нивелирование по створам, определяются абсолютные высоты пикетов. Также производится нивелирование вдоль бровок каналов, поскольку в результате отвала грунта и ила при очистке каналов рельеф этой зоны, как правило, изменяется. Створы с отметками геопривязываются, после чего устанавливается разница между измеренными отметками и отметками «старой» ЦМР в этих точках (рис. 2).

На основе этих значений строится условная поверхность изменившегося рельефа. Заметим, что при малой густоте точек нивелирования рисунки могут значительно различаться в зависимости от используемого способа интерполяции (рис. 3).

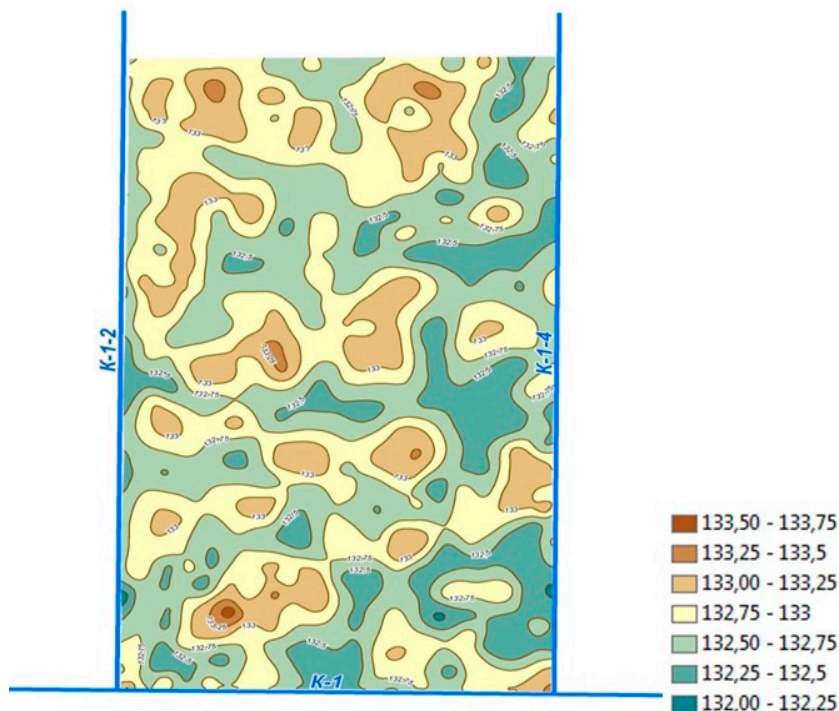


Рис. 1. Цифровая модель рельефа участка, построенная по устаревшим данным

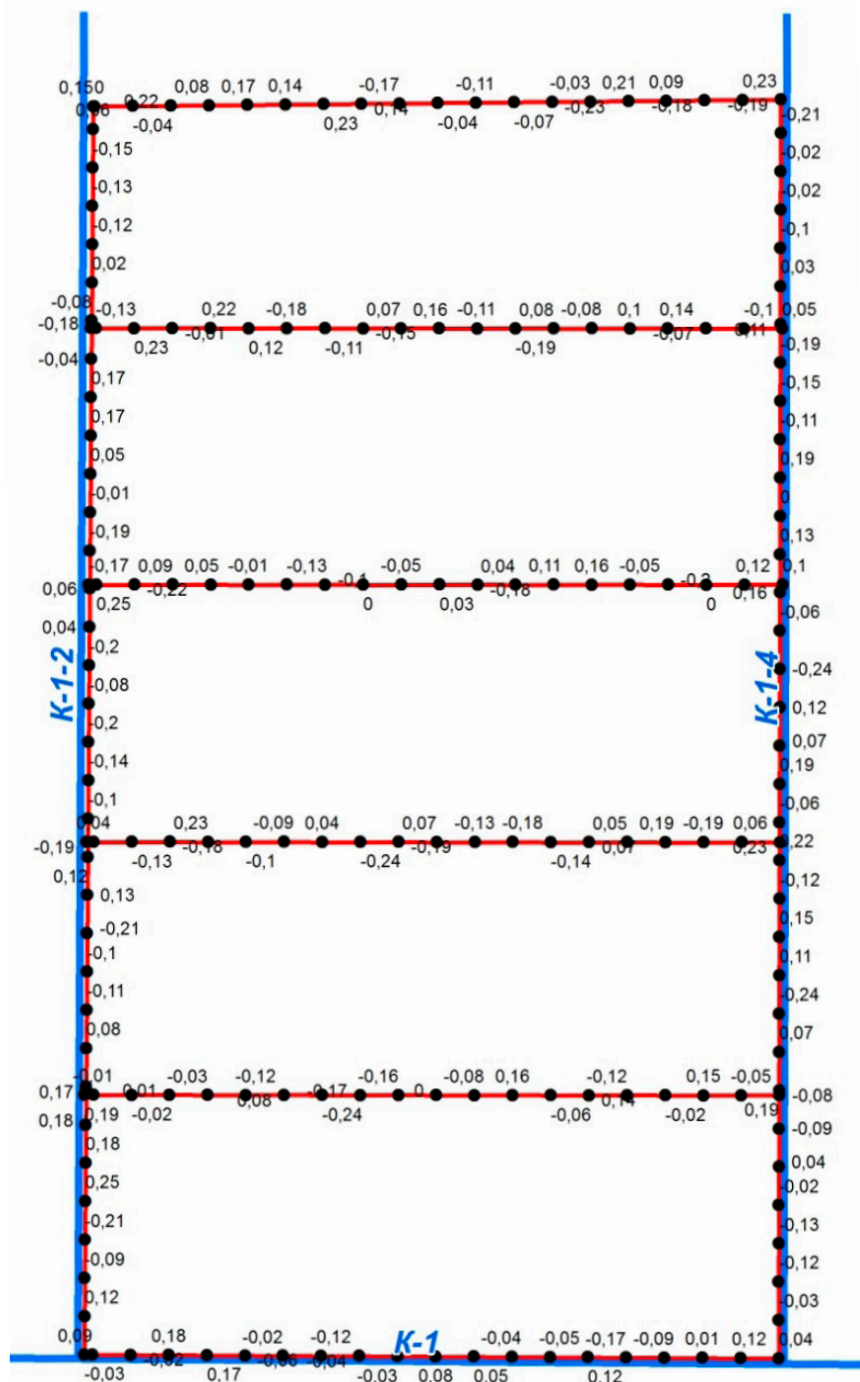
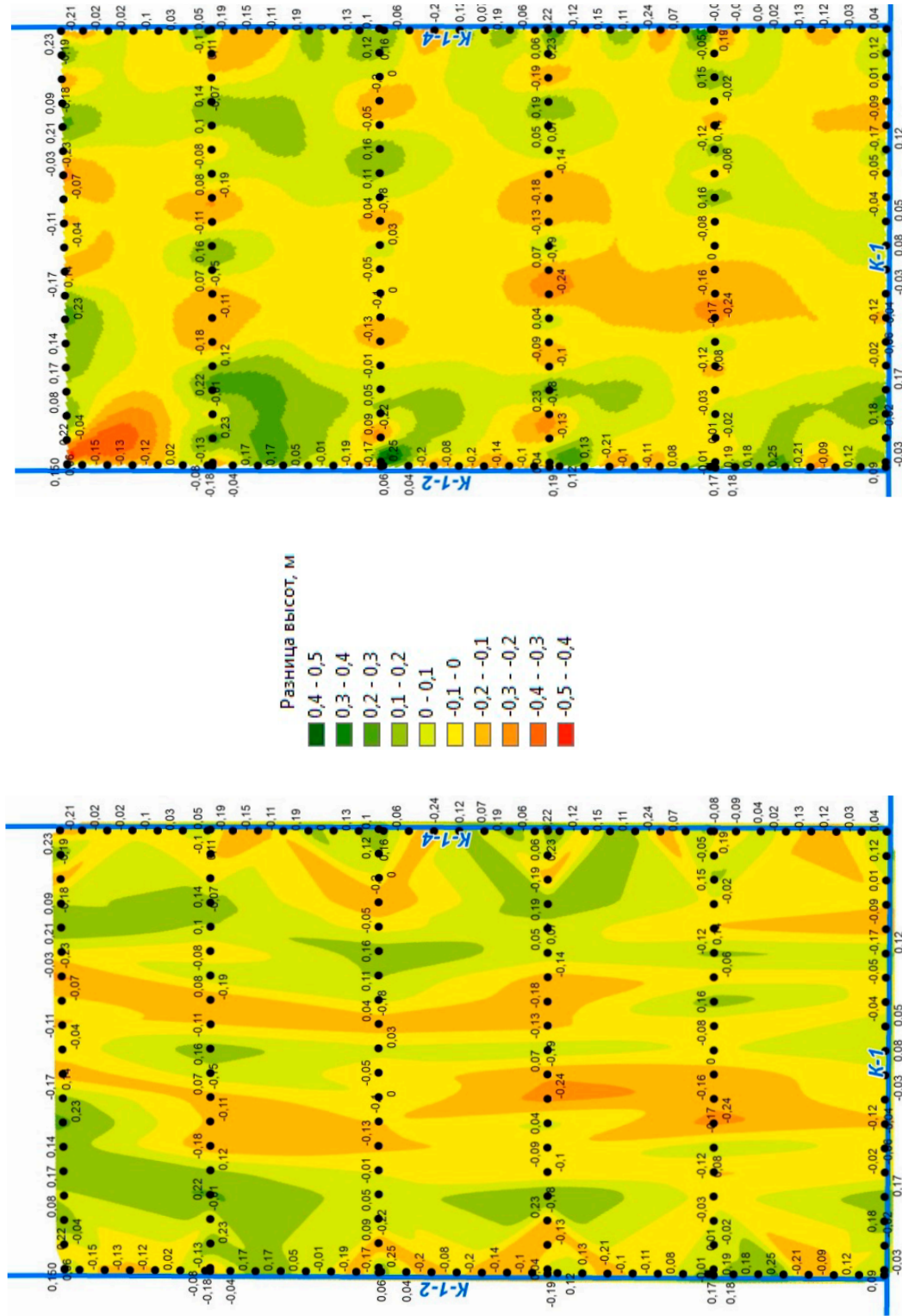


Рис. 2. Створы нивелирования: различия между измеренными отметками и отметками «старой» ЦМР

Далее «старая» цифровая модель рельефа корректируется условной поверхностью изменений рельефа путем сложения их растров (рис. 4).

Участки земель с отметками ниже  $\nabla\Pi_{\max}$  объединяются в группы, отраженные на карте. Затем с помощью соответствующего инструментария программного обеспечения находят площади, на которых возможно получить эффект от увлажнительного шлюзования.

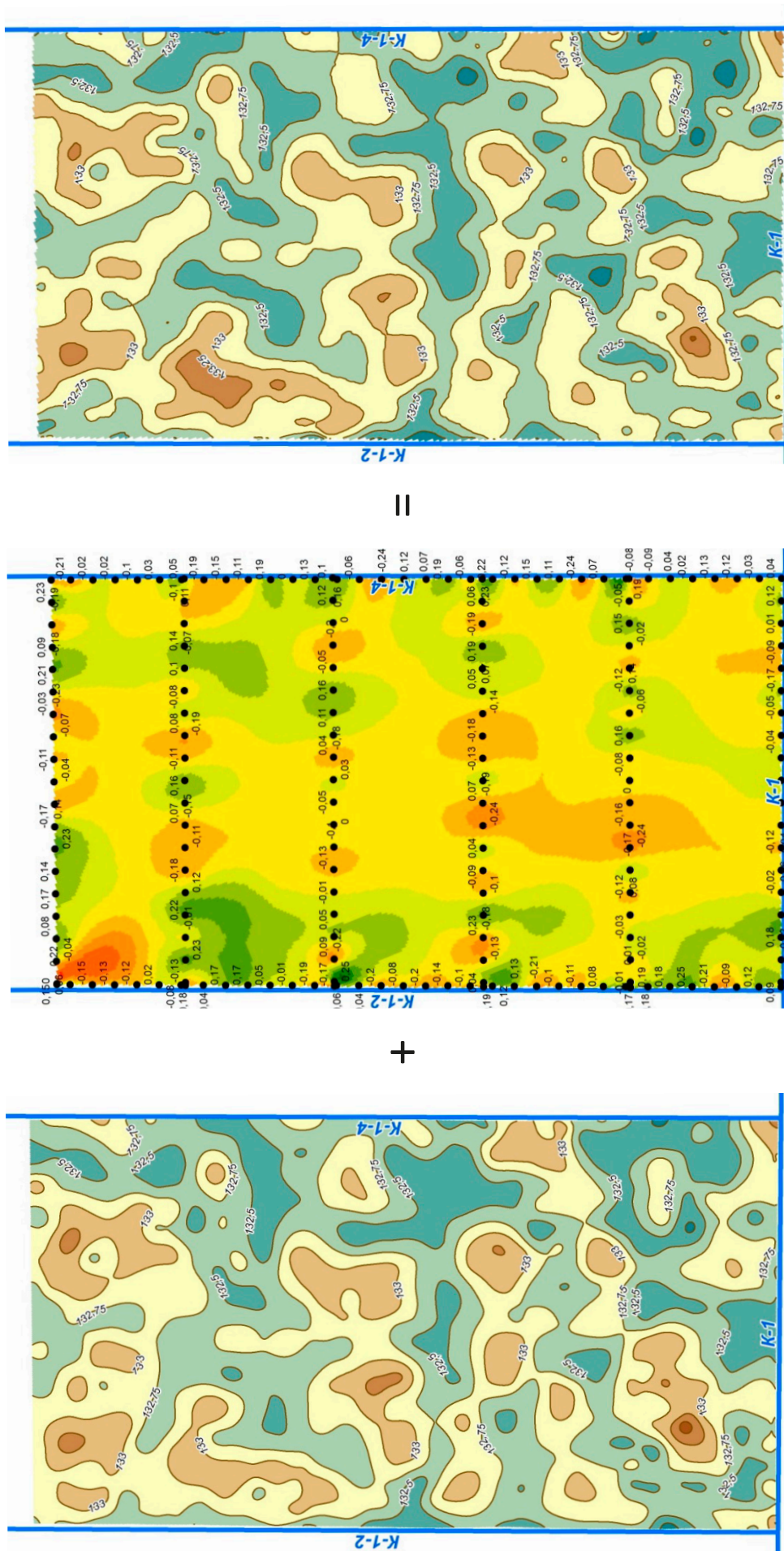
В инструментах определения площадей программ ГИС и САПР для вычислений используется формула площади Гаусса – математический алгоритм вычисления площади многоугольника, вершины которого заданы декартовыми координатами на плоскости. Площадь области, охватывающей многоугольник, определяется в формуле векторным произведением координат и сложением; затем из нее вычитается площадь окружающего многоугольника, что дает площадь многоугольника внутри.



Линейная интерполяция (ТИН)

Сплайновая интерполяция

Рис. 3. Поверхность изменения рельефа, построенная с применением различных методов интерполяции



Откорректированная ЦМР

Поверхность изменений рельефа

«Старая» ЦМР

Рис. 4. Корректировка ЦМР условной поверхностью изменений рельефа, построенной в результате нивелирования по створам

**Пример расчета площади участка с эффективным увлажнением ( $F_{эф.}$ ) с применением программного обеспечения ArcGIS**

Допустим, на участке регулирования площадью 53,39 га с головным подпорным сооружением – шлюзом-регулятором с абсолютной отметкой  $\nabla_{НПУ} = 132,0$  м (рис. 5) преобладают супесчаные почвы, на которых выращиваются зерновые. Тогда в соответствии с формулами (3)–(5) и значениями табл. 1, 2 максимальная отметка эффективного увлажнения равна:  $\nabla\Pi_{max} = 132,0 - 0,2 + (0,5 + 0,6) = 132,9$  м.

В соответствии с формулой (5) минимально допустимая отметка регулирования

$$\nabla\Pi_{min} = 132,0 + 0,3 = 132,3 \text{ м.}$$

Вычисление площади участка, лежащей в пределах этого диапазона высот, произведем с помощью инструмента *ArcToolbox Raster Calculator* (рис. 6), задав выражение («ЦМР» < 132,9) & («ЦМР» > 132,3), где ЦМР – цифровая модель рельефа, по которой производится расчет.

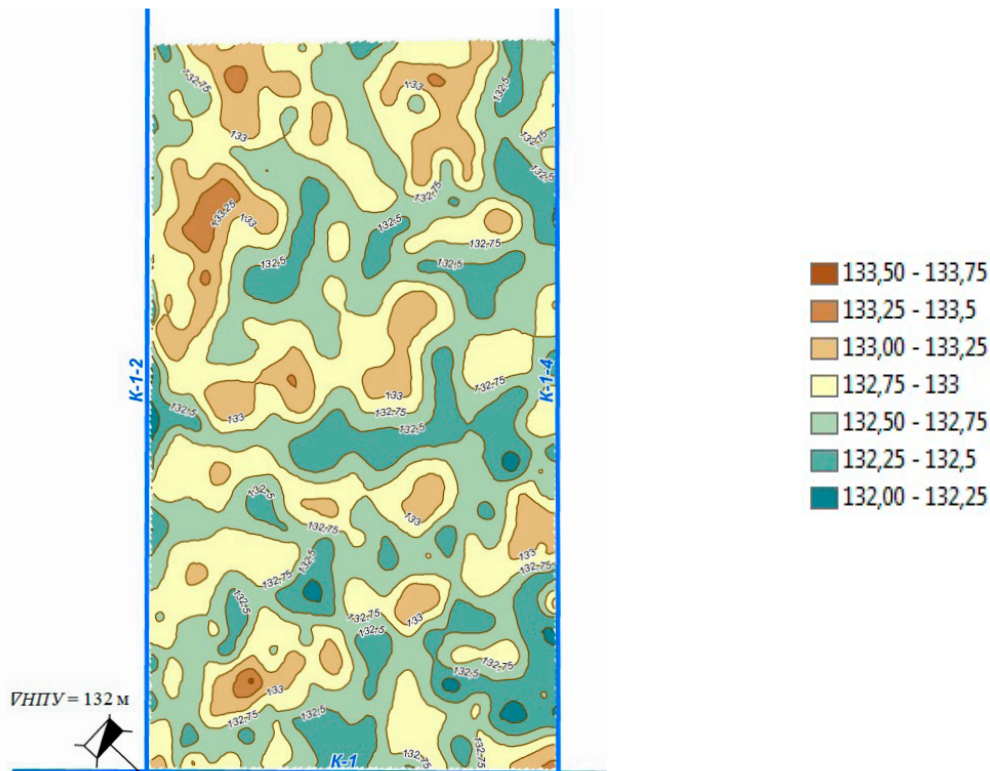


Рис. 5. Цифровая модель рельефа участка регулирования

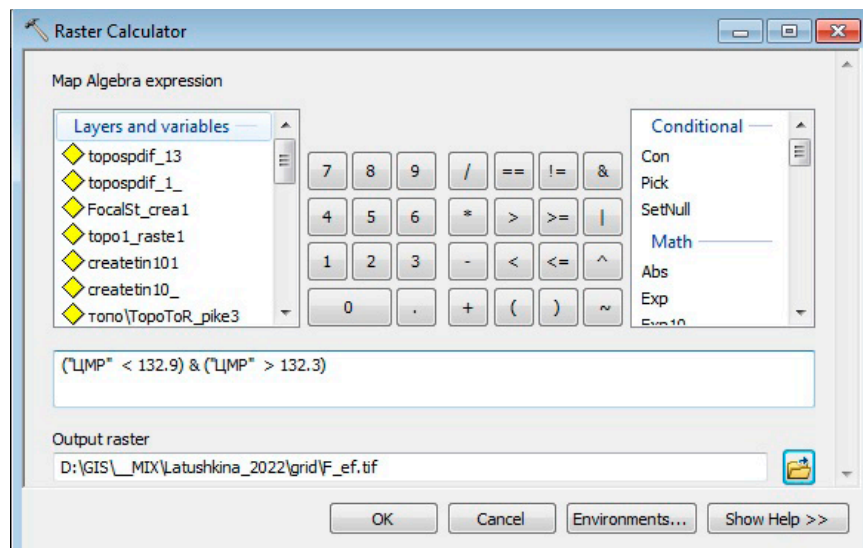


Рис. 6. Окно инструмента *ArcToolbox Raster Calculator* с заданным условием



Результатом вычисления станет двоичный растр, и его значение «1» соответствует территории, на которой выполняется условие  $\nabla\Pi_{\min} (132,3 \text{ м}) < H < \nabla\Pi_{\max} (132,9 \text{ м})$ , где  $H$  – высота, а значение «0» – это площадь территории, где данное условие не выполняется (рис. 7).

Далее с помощью инструмента *ArcToolbox Raster to Polygon* преобразуем полученный растр в векторный формат (рис. 8), после чего инструментом *Calculate Geometry* вычислим площади зон (полигонов), соответствующие значениям «0» и «1» (табл. 3).

Таким образом, при площади части данного участка с эффективным увлажнением ( $F_{\text{эф.}}$ ) 39,52 га его ресурс рельефа в соответствии с формулой (1) составляет

$$R_p = 100 \% \cdot (39,52/53,39) = 74 \%$$

Поскольку ресурс участка регулирования находится в пределах 60–80 %, то при выборе технологии регулирования водного режима на данном участке ОУС следует рекомендовать использование среднего уровня управления в том случае, если другие ресурсы участка не являются лимитирующими [2, 3].

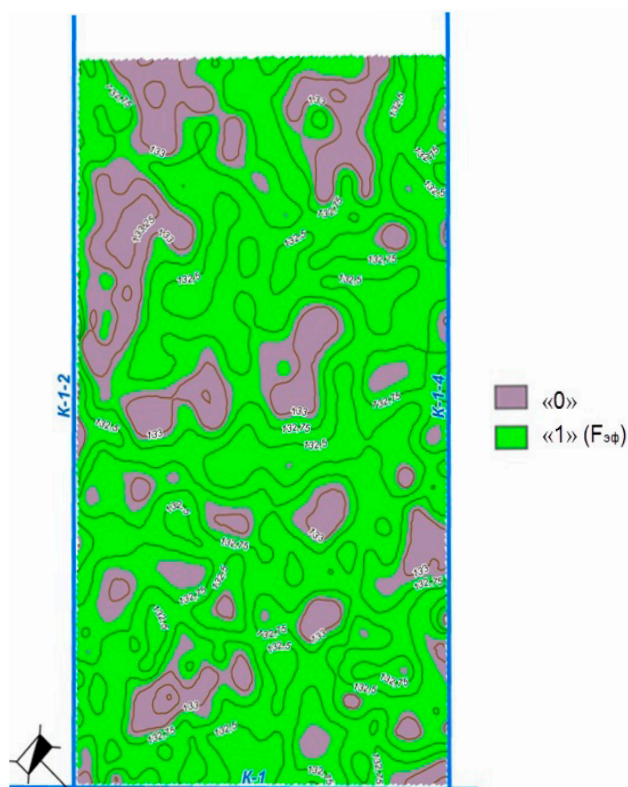


Рис. 7. Результат проверки условия  $\nabla\Pi_{\min} (132,3 \text{ м}) < H < \nabla\Pi_{\max} (132,9 \text{ м})$

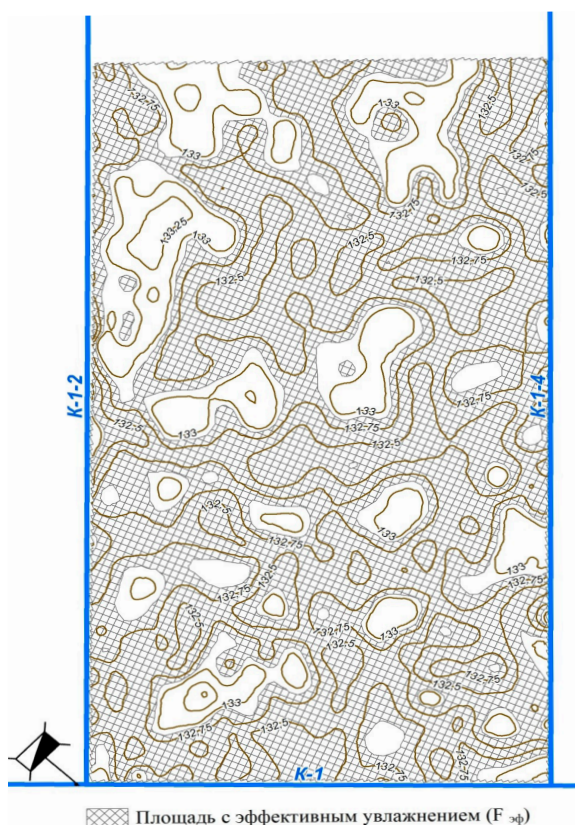


Рис. 8. Площадь участка с эффективным увлажнением ( $F_{\text{эф.}}$ )

Таблица 3. Определение ресурса рельефа участка ОУС

Код	Показатель	Значение показателя
0	Площадь участка за пределами диапазона эффективного увлажнения, га	13,87
1	Площадь участка с эффективным увлажнением, га	39,52
Площадь участка ОУС, га		53,39
Ресурс рельефа участка ОУС, %		74,0

### Заключение

Для мелиоративного объекта с осушительно-увлажнительной системой рельеф является важнейшим фактором, влияющим на эффективность управления водным режимом почвы.

Для определения ресурса рельефа с точки зрения создания благоприятного для растений водного режима почвы на мелиорированной площади следует прежде всего оценивать, на какой части осушительно-увлажнительной системы возможно создание заданного водного режима при помощи регулирования

уровня грунтовых вод шлюзованием. Допустимый диапазон уровней грунтовых вод для эффективного управления водным режимом почв на участках регулирования находится в установленных пределах ( $H_{\max} < H < H_{\min}$ ). Отсчет уровня грунтовых вод ведется от отметок поверхности земли. Для расчета площадей в определенных диапазонах отметок можно применять современные способы с использованием ГИС-технологий и различных компьютерных программ.

### Библиографический список

1. Галкина, В. А. Микрорельеф / В. А. Галкина // Мелиоративная энциклопедия : [в 3 т.] / сост. Б. С. Маслов ; гл. ред. А. В. Колганов. – Москва, 2004. – Т. 2. – С. 174.
2. Лихацевич, А. П. Направления совершенствования нормативного обслуживания мелиоративных систем Беларуси / А. П. Лихацевич // Мелиорация. – 2008. – № 1 (59). – С. 5–14.
3. Лихацевич, А. П. Использование ресурсов гидромелиоративных систем для управления водным режимом почв / А. П. Лихацевич // Мелиорация. – 2009. – № 1 (61). – С. 26–31.
4. Руководство по проектированию и изысканиям объектов мелиоративного и водохозяйственного строительства в Республике Беларусь (РПИ-92) / Г. В. Азява [и др.]. – Минск : Белгипроводхоз. 1995. – Ч. 2. Осушительные и осушительно-увлажнительные системы, кн. 3. Осушительно-увлажнительные системы. – 163 с.
5. Осушительно-увлажнительные мелиоративные системы. Правила проектирования : ТКП 45-3.04-203-2010 (02250). – Введ. 01.01.2011. – Минск : М-во архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2011. – 96 с.
6. Проектирование и расчеты регулирующей сети осушительно-увлажнительных систем на торфяных почвах : рекомендации / сост.: А. И. Ивицкий, Г. И. Афанасик, А. И. Михальцевич. – Минск : Ураджай, 1979. – 80 с.
7. Афанасик, Г. И. Сельскохозяйственные гидротехнические мелиорации : учебник для вузов / Г. И. Афанасик, М. Г. Голченко, А. П. Лихацевич ; ред. А. П. Лихацевич. – Минск : Тэхналогія, 2000. – 436 с.
8. Инженерные изыскания для строительства : СН 1.02.01-2019. – Введ. 26.12.2019 (с отменой СНБ 1.02.01-96). – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 108 с.

Поступила 17 февраля 2023 г.