



Черновицкий национальный университет
имени Юрия Федьковича

Yuriy Fedkovych Chernivtsi
National University

Использование гексагонально-растровых ЦМР в почвенно-экологических исследованиях

Using a hexagonal raster DEMs in soil and ecological researches

Дмитрук Юрий Михайлович
Dmytruk Yuriy Mychaylovych
д.б.н., профессор

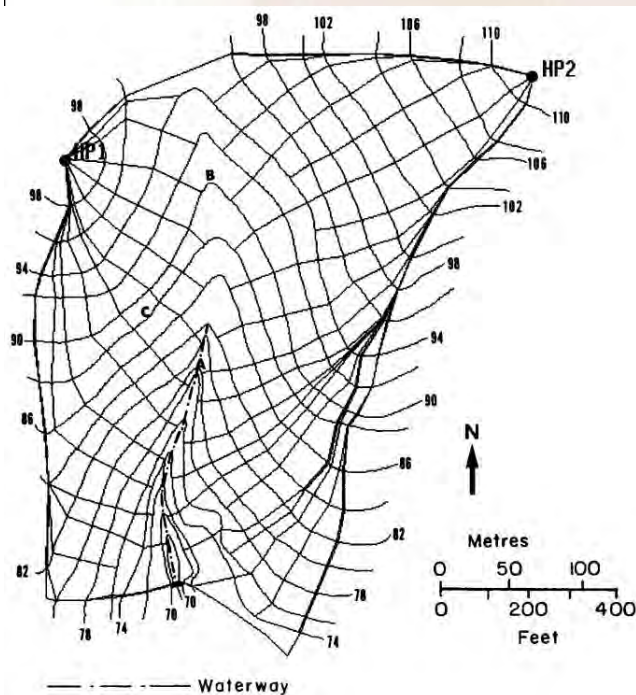
Черлинка Василий Романович
Cherlinka Vasyl Romanovych
к.б.н., доцент

докладчик
speaker

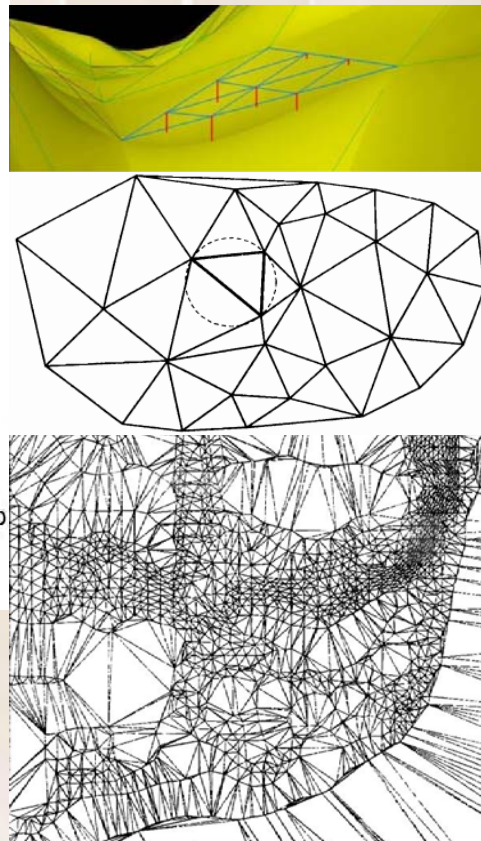
Терминология

Термин	Определение
Цифровая модель рельефа (ЦМР) - Digital elevation model (DEM)	общий термин, описывающий цифровые топографические данные во всем разнообразии форм, а также методы интерполяции высот между точками наблюдений. Обычно берется во внимание абсолютная высота поверхности без растительности и строений, но с включением искусственных элементов рельефа, например, дорожных насыпей (Maune et al., 2001).
Цифровая модель местности (ЦММ) - Digital terrain model (DTM))	охватывает модели высот и другие географические элементы и природные особенности, такие как реки, водные объекты и другие линии разрывов (Kennie, Petrie, 1990; Li et al., 2005)
Цифровая модель поверхности - Digital surface model (DSM)	модель, которая описывает высоты отбивающих поверхностей, таких как строения и растительность (Maune et al., 2001). Имеет широкое применение в лазерной и других видах съемок при ДЗЗ.

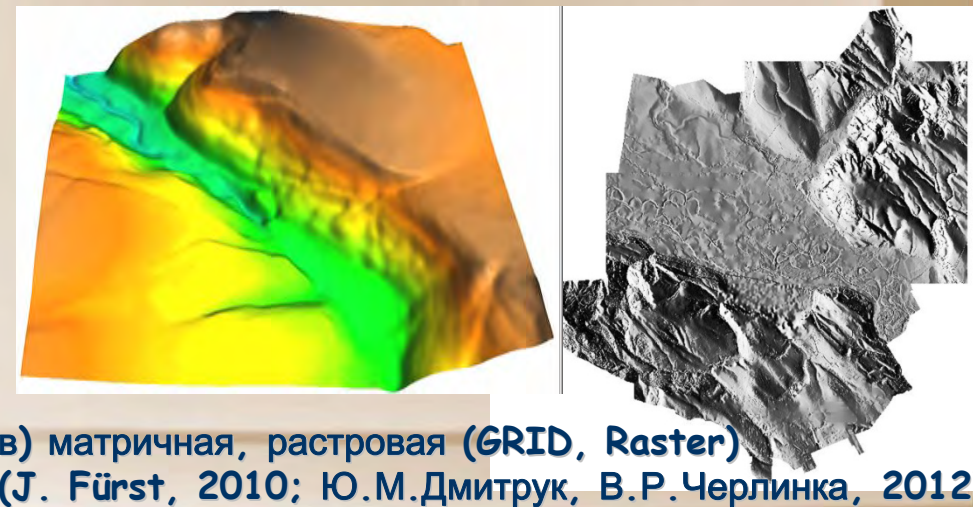
Основные типы цифровых моделей рельефа (примеры)



а) линейная (Line),
(J. Fürst, 2010)



б) триангуляционная (TIN),
(Ž. Cvijetinić et al., 2008;
А.В. Скворцов, 2002)

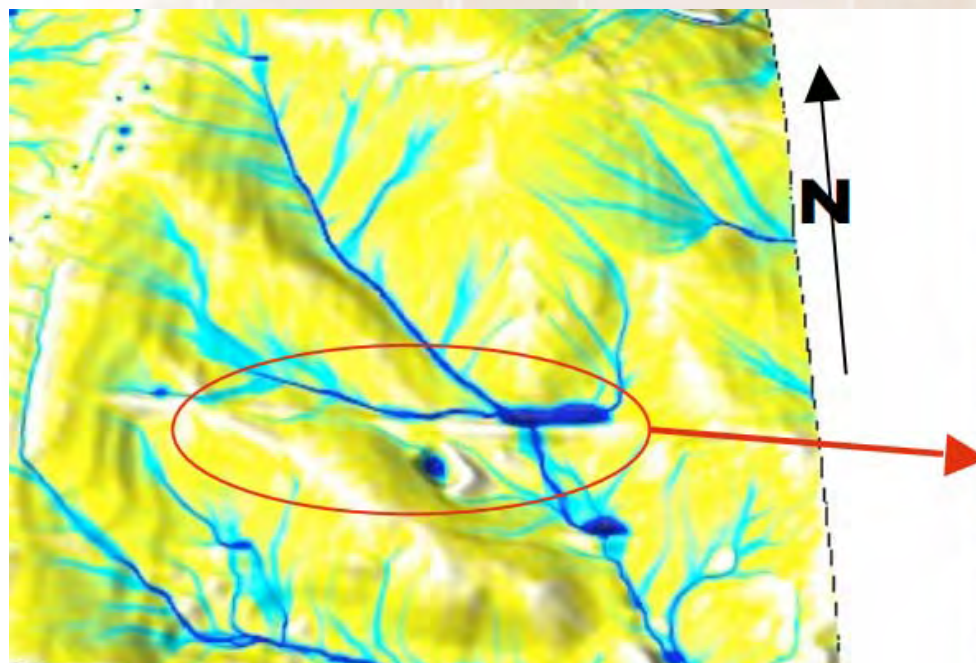
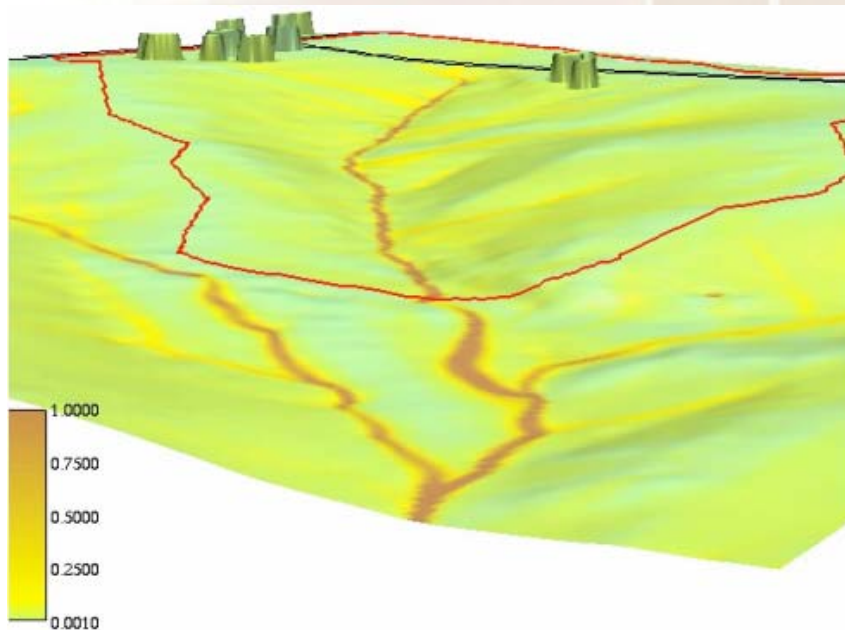


в) матричная, растровая (GRID, Raster)
(J. Fürst, 2010; Ю.М.Дмитрук, В.Р.Черлинка, 2012)

Созданная цифровая модель рельефа (ЦМР) служит базой для оценки перераспределения потоков вещества и энергии как в пределах локальной экосистемы, так и ландшафта в целом:

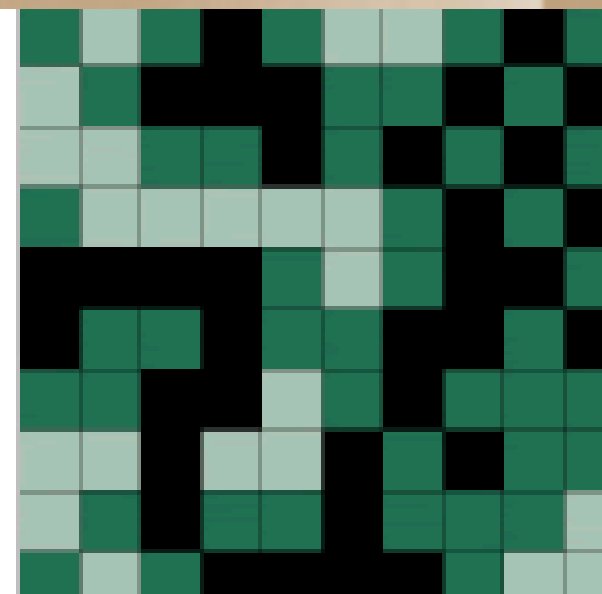
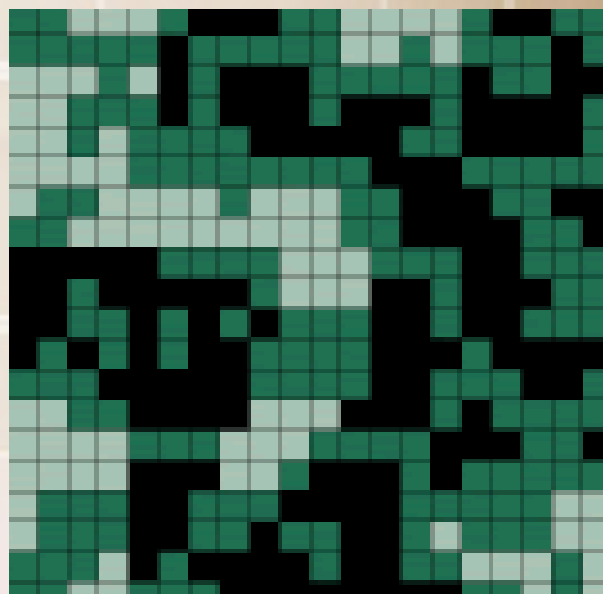
- Качественные показатели поверхностного стока зависят от типа ЦМР (Шарый, 2006; Balázsik, Engler, Mélykúti, 2012).
- Качество и тип построенной ЦМР непосредственно влияет на точность выделения базовых морфометрических величин (Wood, 1996; Shary, Sharaya, Mitusov, 2002; Флоринский, 2010).
- Разработки в методологии построения растровых ЦМР коренным образом улучшили возможности их практического применения, в частности в гидрологических и, соответственно, в экологических приложениях (Li, Zhu, Gold, 2005; Brimicombe, 2010).
- Наиболее распространенные ортогональные GRID-модели рельефа при гидрологических расчетах используют базовый алгоритм D8 (O'Callaghan, Mark, 1984).

**Примеры расчета перераспределения влаги/наносов на
основе модели *SIMWE* в ортогональной ЦМР
(L.Mitas, H.Mitasova, 1998; M.Neteler, H.Mitasova, 2008)**



**Основные свойства ЦМР относительно пригодности для
практического применения в почвенно-экологических
приложениях** (Х.В. Бурштинская, 2003; J.N. Callow, K.P. Van Niel,
G.S. Boggs, 2007; V. Wichmann, M. Rutzinger, M. Vetter, 2008)

**ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ
КОРРЕКТНОСТЬ**



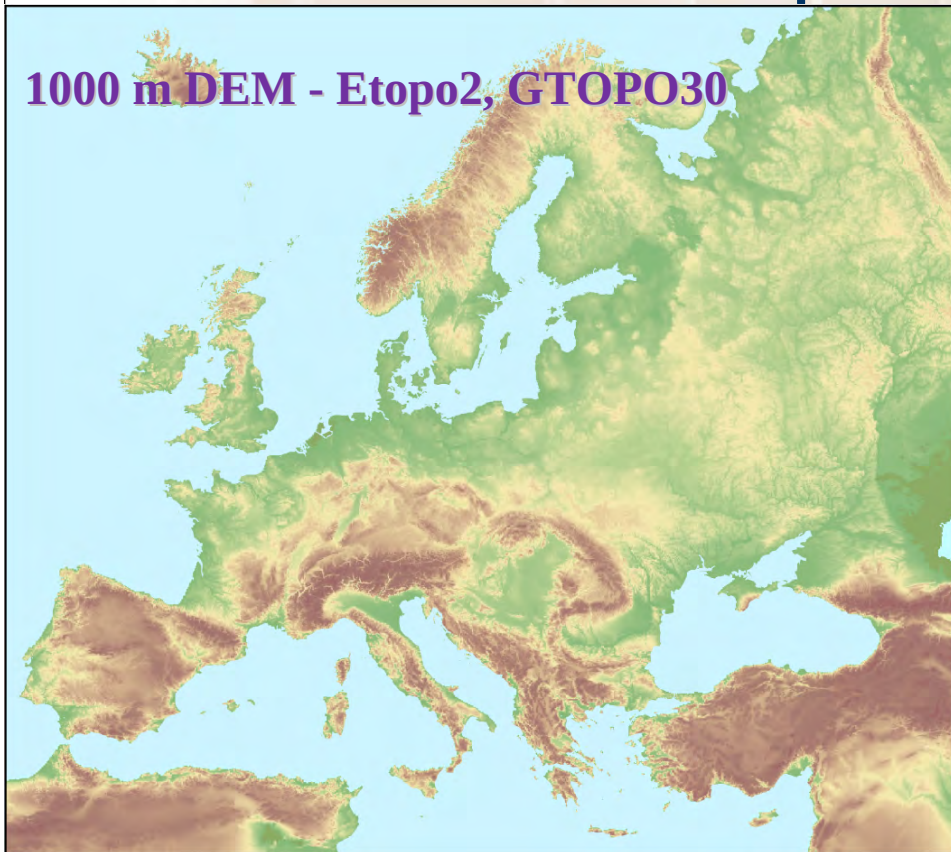
ТОЧНОСТЬ
(минимизация ошибок)

ДЕТАЛЬНОСТЬ
(интервал дискретизации
модели)

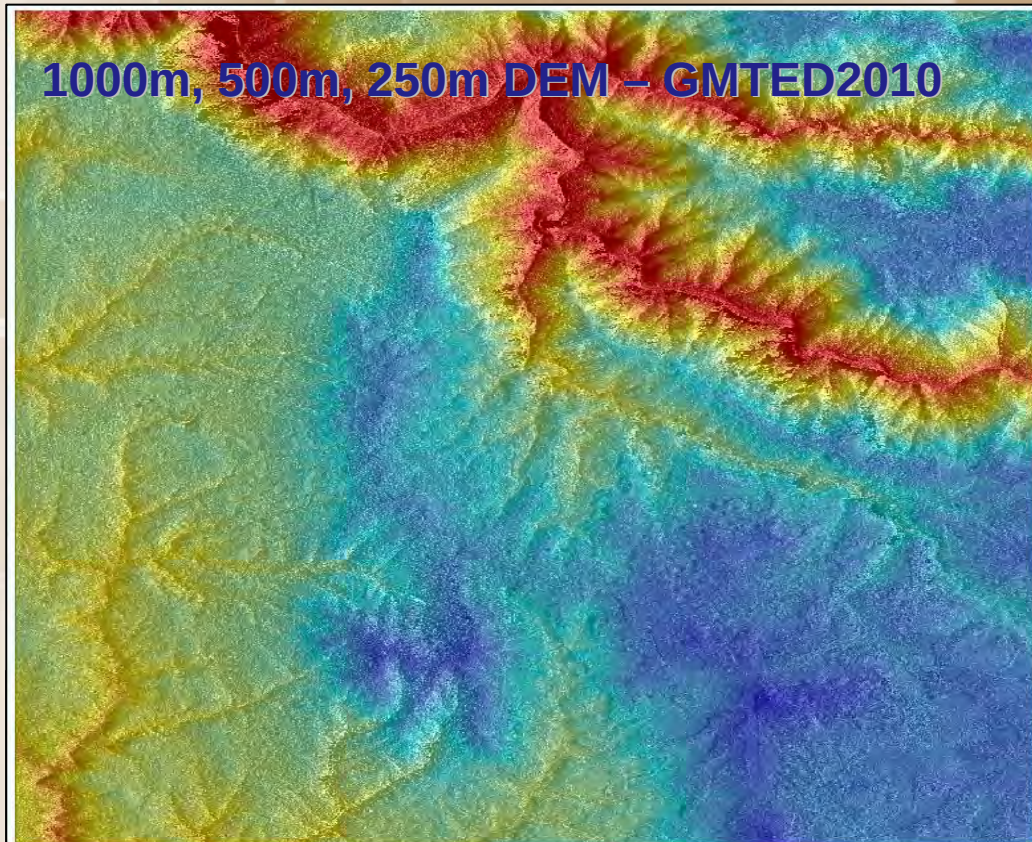
РЕПРЕЗЕНТАТИВНОСТЬ
(соответствие реальному
рельефу)

Возможные источники ЦМР для исследований базируются на ортогональной сетке

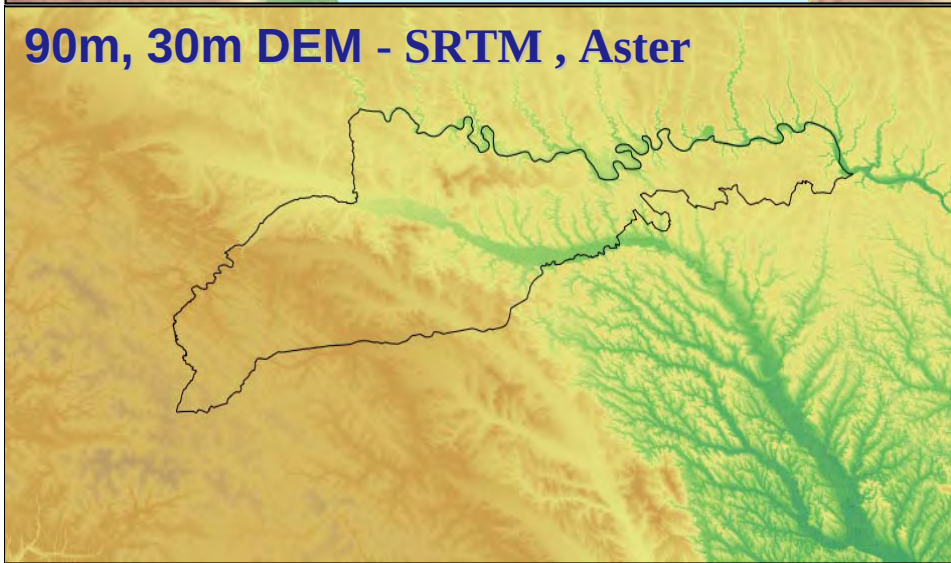
1000 m DEM - Etopo2, GTOPO30



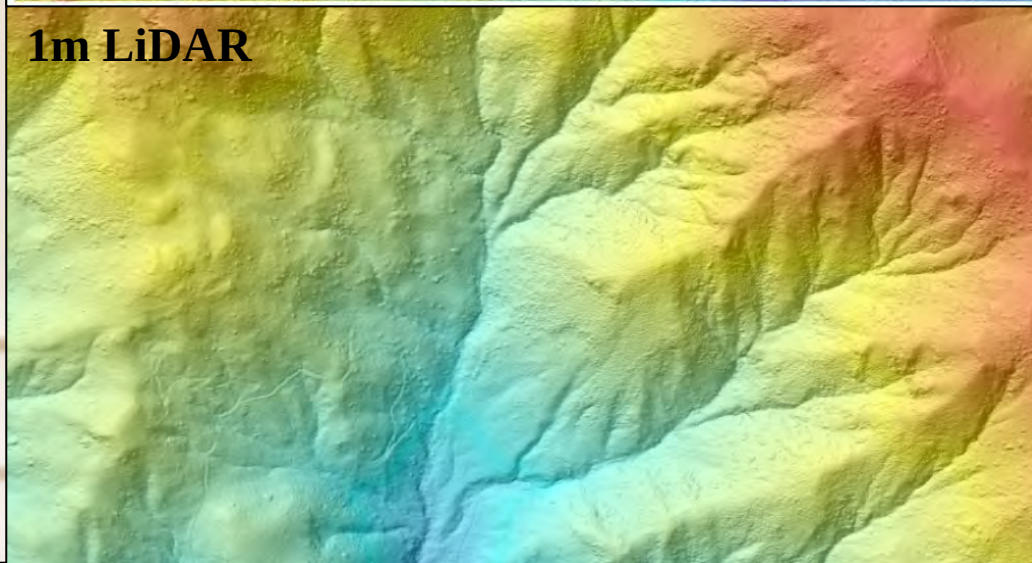
1000m, 500m, 250m DEM - GMTED2010



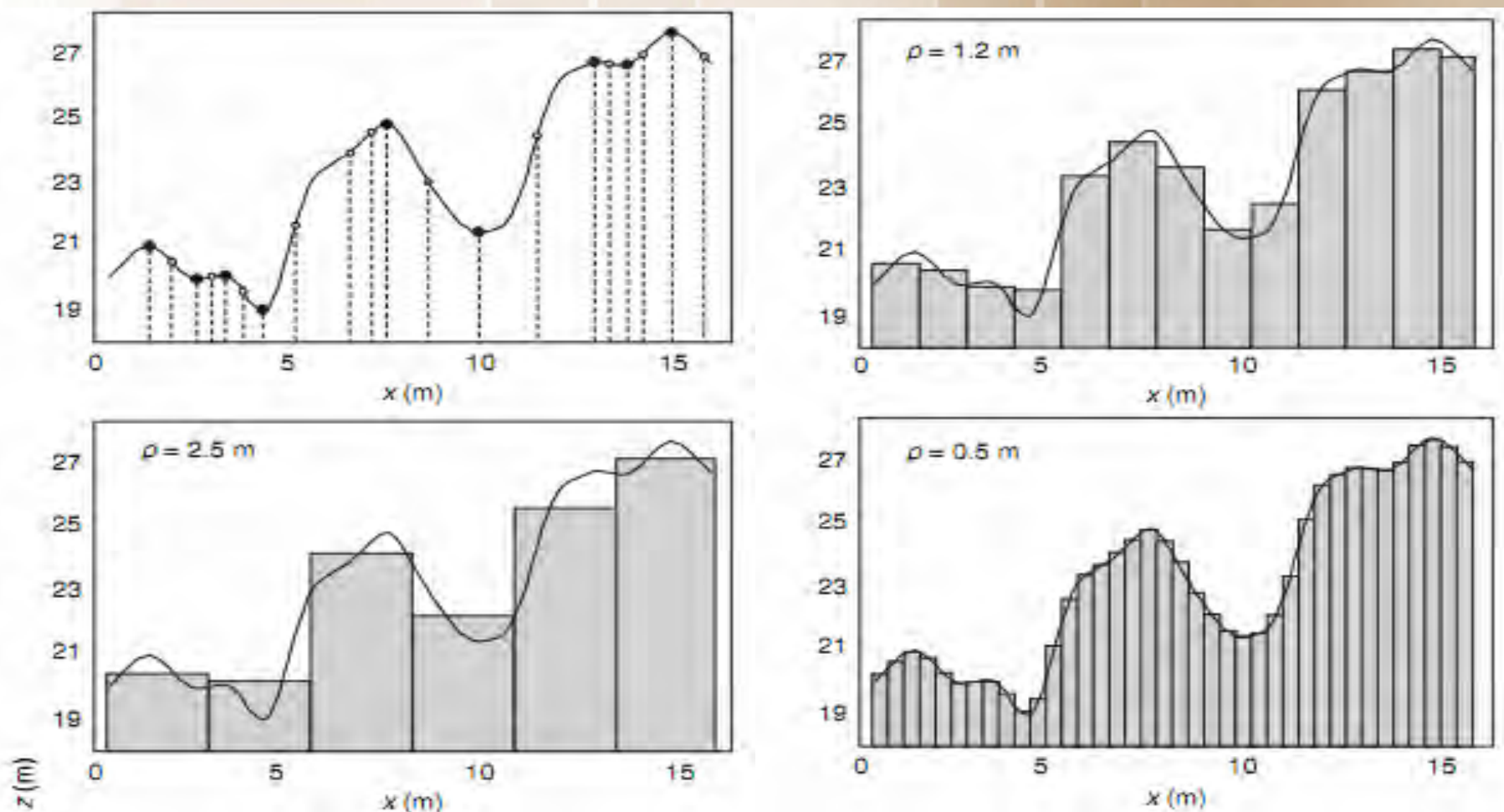
90m, 30m DEM - SRTM, Aster



1m LiDAR



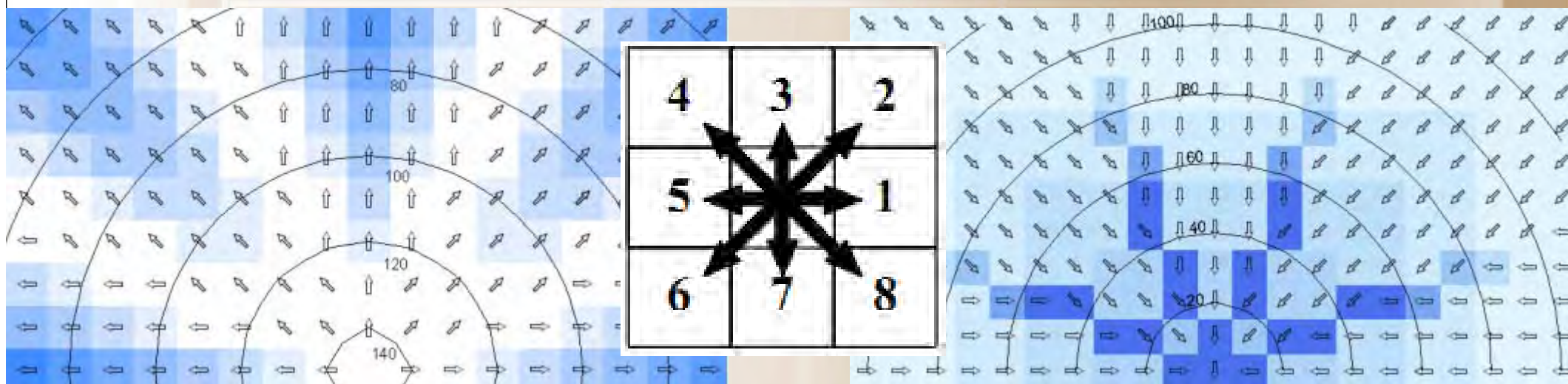
Влияние разрешающей способности ячейки на качество ЦМР (Т.Ненгл, 2006)



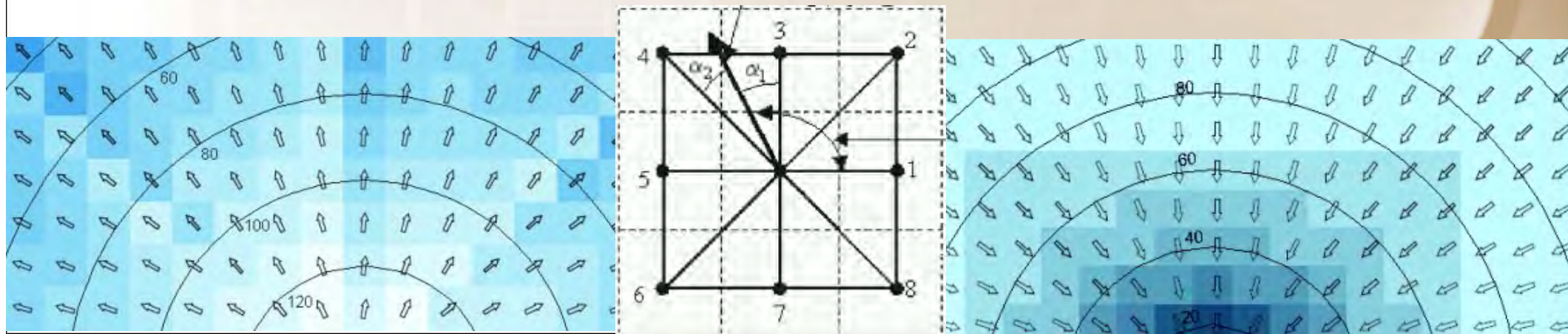
Неправильный выбор шага дискретизации модели приводит к утрате значительной части информации про исследуемый объект: последующие анализ и моделирование в любых прикладных приложениях, в частности экологических, сопровождается значительными систематическими погрешностями

Недостатки алгоритмов расчета направления потока на ортогональном растре (*J. Fürst, 2010*)

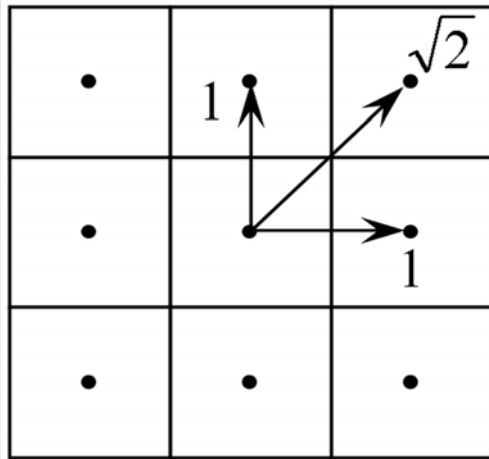
D8



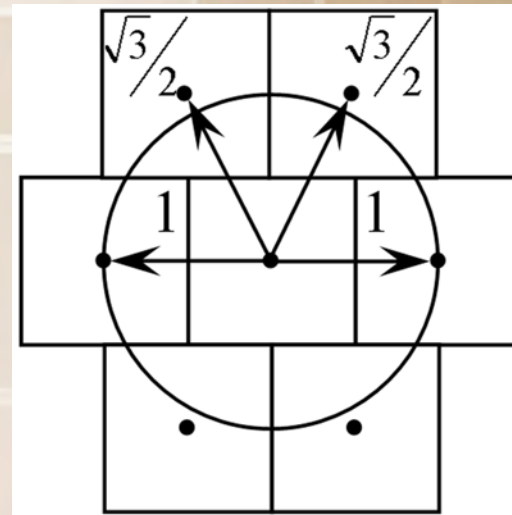
D_∞



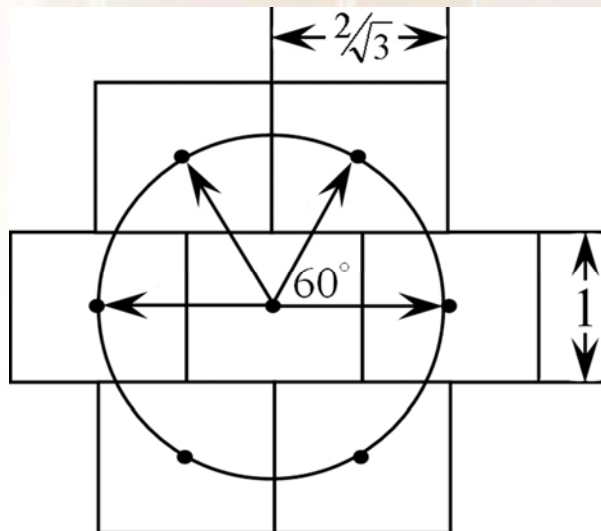
В моделях на основе множества регулярно расположенных ячеек в форме гексагонов (ISO 19123:2005) отсутствует неясность относительно определения дистанций, поскольку центры всех соседних ячеек находятся на одинаковых расстояниях, что позволяет минимизировать погрешности и точнее описывать вероятности перераспределения потоков (Endreny, Wood, 2003; Sousa et al., 2006).



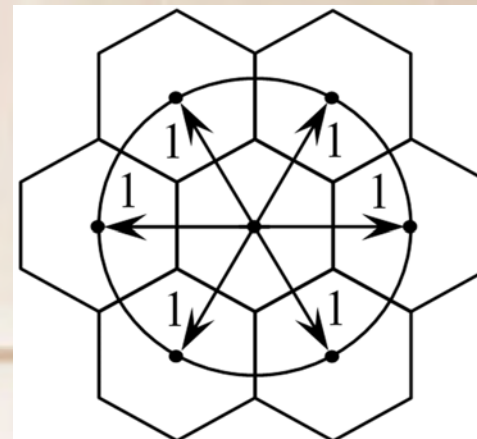
а – квадратный пиксел в декартовой СК



б – квадратный пиксел в псевдогексагональной СК



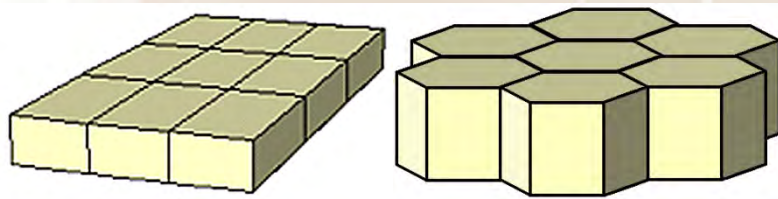
в – прямоугольный пиксел в гексагональной СК



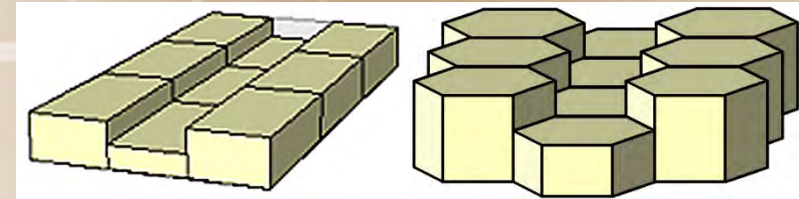
г – гексагональный пиксел в гексагональной СК

Учитывая этот факт, использование ЦМР на основе гексагональных растров имеет большой теоретический и практический интерес, а методы получения такого рода ЦМР нуждаются в детальной проработке и изучении.

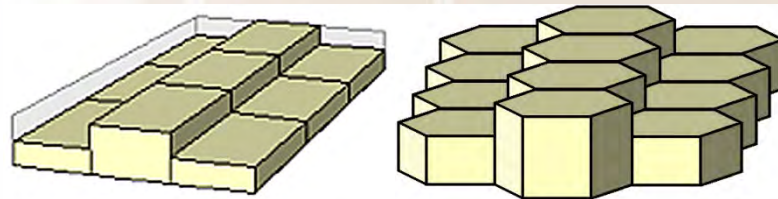
Отображение базовых морфологических элементов рельефа в ортогональных (Wood, 1996; Fisher et al., 2004) и гексагональных типах ЦМР



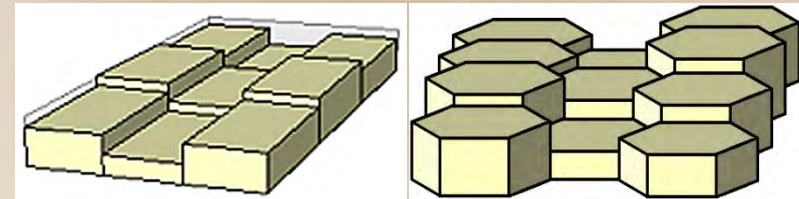
а) плоскость - plane



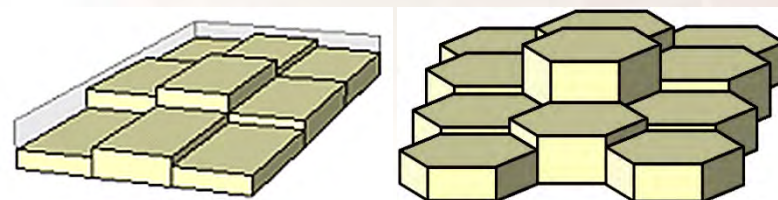
б) канал - channel



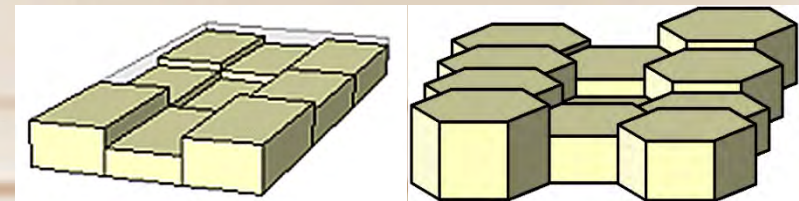
в) хребет - ridge



г) седловина/перевал - pass



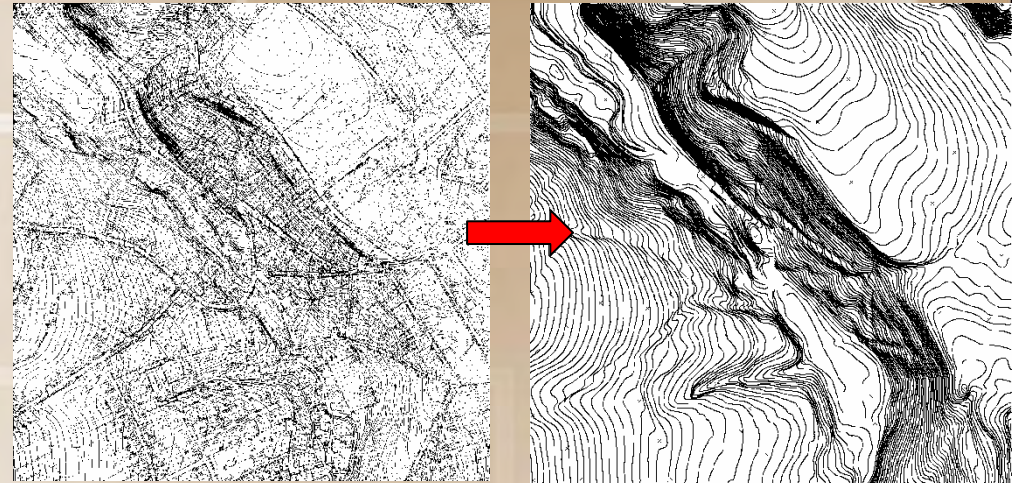
д) вершина - peak



е) углубление - pit

Методы получения гексагонально-растровых ЦМР

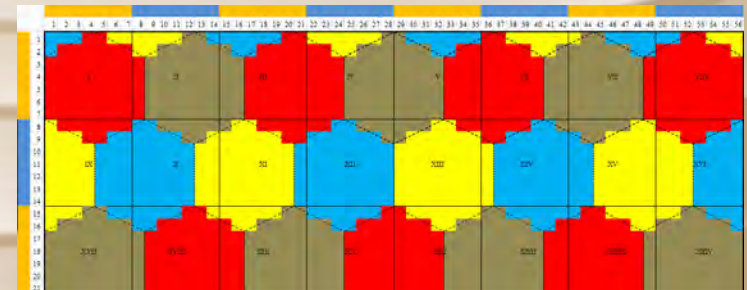
1. Генерирование из предварительно дигитализированных горизонталей и отметок высот топографических карт (или результатов наземных съемок).



2. Использование гексагональных датчиков при ДЗЗ.



3. Ресемплинг (передискретизация) ортогональной ЦМР в гексагональную.



Логико-структурная схема ресемплинга и обработка ЦМР в виртуальной системе координат (по С.А. Wüthrich, Stucki, 1991 в модификации Gardiner et al., 2007)

Оригинальная ортогональная ЦМР

Изменение размера ЦМР. Представление исходных пикселей матрицей (блоком) $n \times n$ псевдопикселей

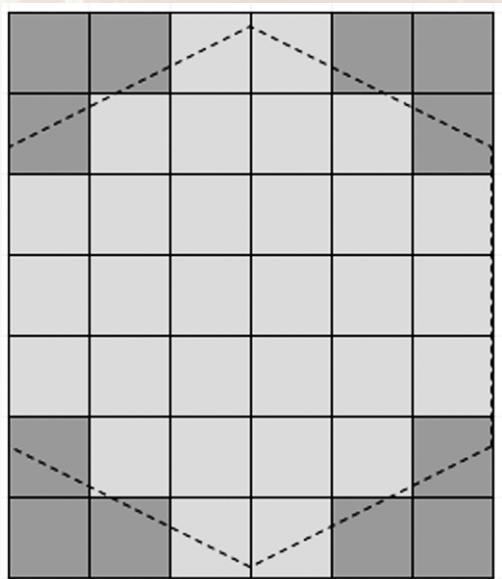
Ресемплинг псевдопиксельной ЦМР в гексагональную

Обработка ЦМР в гексагональной системе координат

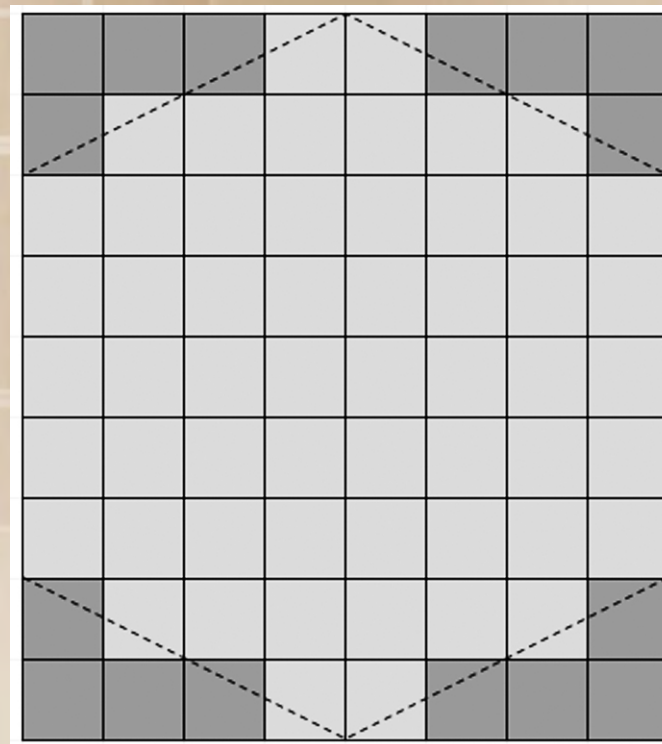
Отображение гексагональной ЦМР в гексагональной системе координат

Возможные способы представления кластера субпикселей

(или виртуального гексагонального пиксела - гиперпела)



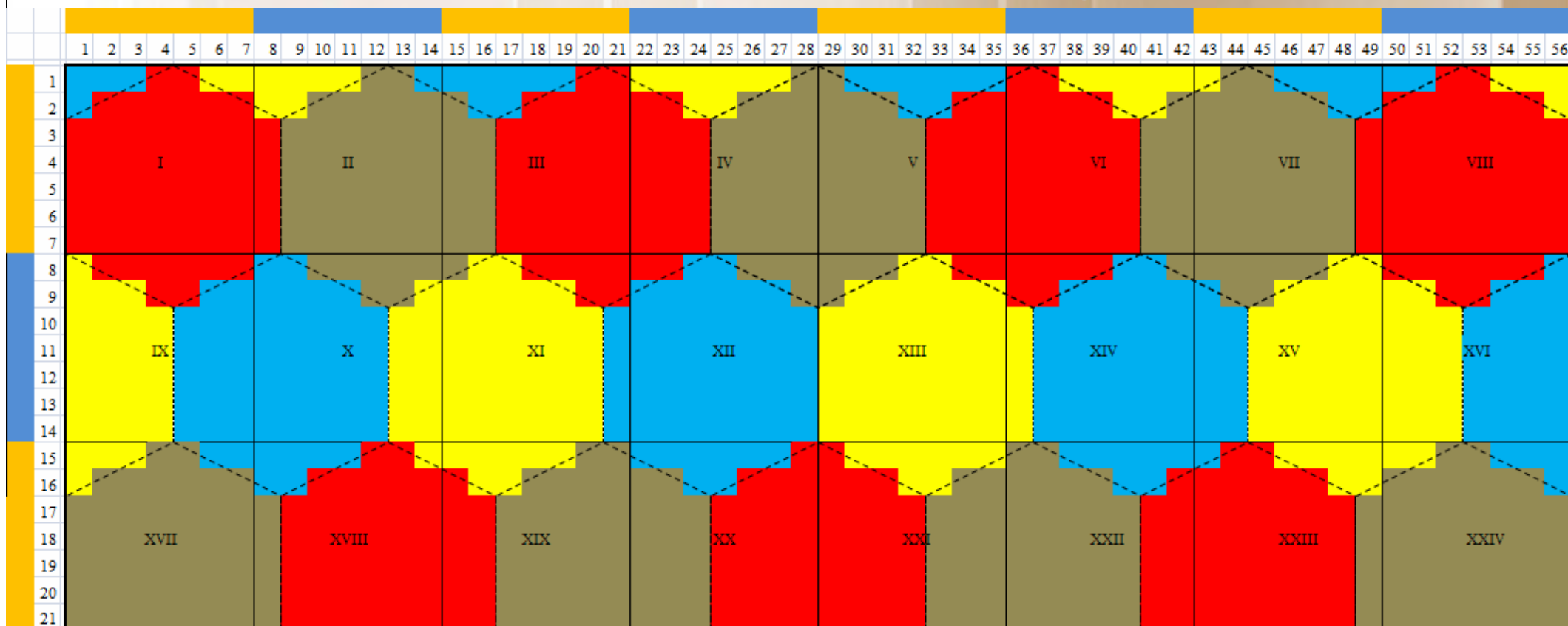
а) блок субпикселей 5x5



б) блок субпикселей 7x7

В основе выбора количества субпикселей, предназначенных для кластеризации исходной ЦМР лежит удовлетворение следующих требований: кластер должен походить на правильный шестиугольник, а субпикселы должны располагаться без пробелов и перекрытий, то-есть должно соблюдаться условие тесселяции, в данном случае гексагональной

Процесс ресемплинга ЦМР из орто- в гексагональную



Значение атрибута высоты для каждого субпикселя выделенного из исходного блока (очерченные сплошной линией, а римские цифры означают номера блоков субпикселей оригинальной ЦМР) соответствует значению последнего. Высота в каждом виртуальном гексагональном пикселе (наложенная пунктирная сетка гексагонов) аппроксимируется как среднее значение всех 56 субпикселей, образующих кластер или виртуальный гексагональный пиксел. Для пограничного кластера, который находится на границе ЦМР, может отсутствовать некоторое число субпикселей. В этом случае значение атрибута может быть вычислено как среднее значение всех присутствующих субпикселей, которые попадают в данный гексагон.

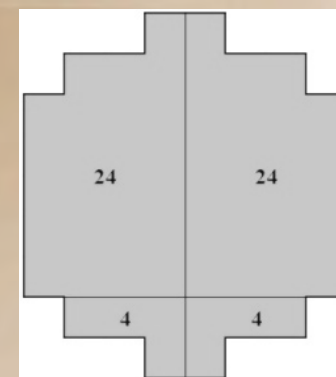
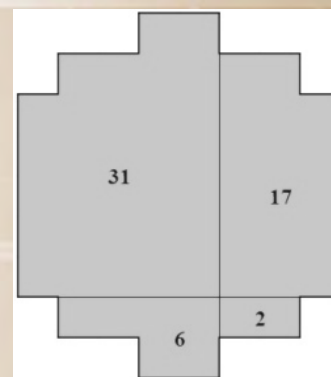
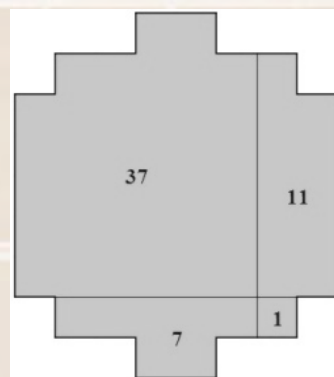
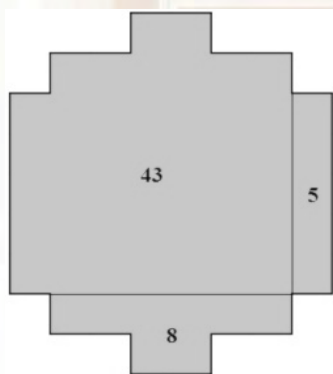
Модельный пример

Анализ показывает, что существует конечный минимальный размер исходной сетки, который включает все возможные комбинации наложения гиперпелов, а именно 8x3 ячеек. Этому соответствует количество субпикселей 56x21 при размере блока 7x7

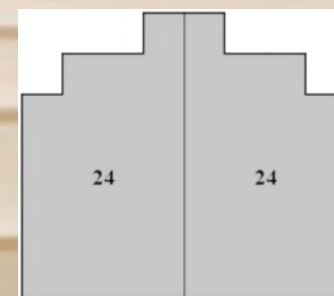
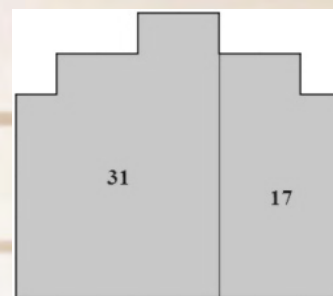
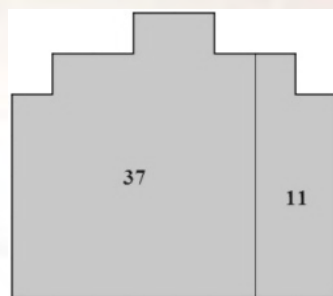
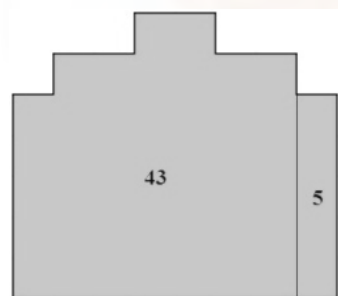
1	2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23	24

Возможные варианты комбинаций гексагональных ячеек, блоков субпикселей и их соотношений в ресемплируемых ЦМР

Основные комбинации



Вторичные комбинации



Тестовая ЦМР с относительным распределением высот

0	8	16	24	32	40	48	56
15	24	33	42	51	60	69	78
30	40	50	60	70	80	90	100

В работе исследовано качество ресемплированной ЦМР при использовании разных средних: арифметического, геометрического и гармонического.

Результаты дисперсионного анализа

$F_{\text{факт}} \leq F_{\text{крит.}}$, а именно: 0,13 против 2,69, 3,96 и 5,82 при уровнях значимости $\alpha = 5 \%$, 1% и $0,1 \%$ соответственно

Заключение:

1. Использование гексагональной ЦМР в почвенно-экологических исследованиях даст возможность получать более корректные морфометрические, гидрологические и другие показатели. Таким образом, исследование пространственно-временной вариабельности почвенного покрова, эрозии почв, распространения поллютантов и оценка экологических рисков производств выйдет на высший уровень достоверности и реалистичности.
2. Вычисленные таким способом значения всех гексагональных пикселей репрезентируют ЦМР, которая имеет виртуальную гексагональную структуру, обладает всеми положительными свойствами истинной гексагональной и наследует все характеристики исходной модели рельефа. При этом она имеет одно неоспоримое преимущество – гексагональность, что дает возможность проводить весь комплекс гидрологических, морфометрических и других расчетов на абсолютно другой элементной базе. Это повысит точность и аргументированность работ не только в почвоведении, но и в других задачах.
3. Передискретизация классической ортогональной ЦМР в гексагональную с использованием метода на основе гиперпелов и расчета значений результирующих ячеек с помощью формул средневзвешенного арифметического, геометрического и гармонического показывает приемлимые конечные результаты. Статистический анализ подтверждает, что полученные гексагональные и исходная цифровые модели рельефа принадлежат одной генеральной совокупности, то есть такой метод расчета в исследованиях себя оправдывает. В то же время, совершенствование результата с целью улучшить соответствие до полной идентичности ресемплированных ЦМР требует дальнейших исследований, особенно в направлении привлечения нелинейных интерполяций и увеличения размера гиперпела.

Спасибо за внимание!

E-mail ID: ***cherlinka@gmail.com***