

А. А. Кузьмичев (ФГБНУ «РосНИИПМ»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ ПРОЦЕНТА ОБЕСПЕЧЕННОСТИ СТОКА ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ЛИМАННОГО ОРОШЕНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Целью исследований являлось определение оптимального процента обеспеченности стока при проектировании систем лиманного орошения, рассчитываемого на основании энергетической эффективности возделывания кормового севооборота в условиях Ростовской области, при котором совокупные энергетические затраты на возделывание культур в севообороте компенсировались совокупной энергетической прибавкой урожая на фоне лиманного орошения. На основании предварительного математического анализа полученных данных установлена зависимость энергетической эффективности лиманного орошения от процента обеспеченности стока $Z(x) = -64,21x^2 + 8783,9x - 287168,15$, ГДж/га. Оптимальное значение процента обеспеченности стока, на которое возможно проектировать системы лиманного орошения в условиях Ростовской области, лежит в диапазоне от 60 % до 75 %. При этом максимальный энергетический эффект достигается при $P = 68,5 \%$ и составляет 13239,63 ГДж/га.

Ключевые слова: проектирование, система лиманного орошения, процент обеспеченности стока, энергетическая эффективность, математический анализ, площадь лиманного орошения, энергетические затраты.

A. A. Kuzmichev (FSBSE "RSRILIP")

DETERMINE THE OPTIMAL PERCENTAGE OF RUNOFF PROBABILITY AT THE DESIGN OF ESTUARY IRRIGATION BASED ON THE METHOD OF ENERGY EFFICIENCY

The objective of the research was to determine the optimal percentage of runoff probability at the design of estuary irrigation. The percentage was calculated on the basis of energy efficiency of forage crop rotation in the Rostov region. Total energy costs for crop growing were compensated by the energy increase in crop yield at estuary irrigation. Based on the preliminary math analysis of the obtained data the relationship between the energy efficiency of estuary irrigation ($Z(x)$, GJ/ha), and percentage of runoff probability (x , %) was established: $Z(x) = -64.21x^2 + 8783.9x - 287168.15$. The optimal percentage of runoff probability for design the system of estuary irrigation in the Rostov region ranges from 60 % to 75 %. The maximum energy efficiency achieved at $P = 68.5 \%$, its value was 13239.63 GJ/ha.

Keywords: design, estuary irrigation system, percentage of runoff probability, energy efficiency, math analysis, area of estuary irrigation, energy costs.

В настоящее время в связи с распадом крупных государственных хозяйств на территории оросительных систем образовалось большое количе-

Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, № 4 (12) 2013 г., [141-156]
ство небольших фермерских хозяйств, в связи с чем обострились проблемы водоподачи и водораспределения как экономического, так и технического характера.

Помимо этого крупные магистральные каналы вносят определенные изменения в формирование местного стока в зоне их действия. Трассы каналов, проходя по склонам водоразделов, отсекают значительные водосборные площади и преграждают путь талым и ливневым водам. Талые и ливневые воды, встречая на своем пути приканальные дамбы, формируются вдоль них в сосредоточенные потоки. Объем отводимой воды достигает значительных величин. Так среднемноголетний объем талых вод с водосборных площадей, прилегающих к магистральным каналам Ростовской области, в среднем составляет 68,1 млн м³. Рациональное использование этих вод, которые относятся к местному переформированному стоку, открывает возможности расширения орошаемой площади. По этой причине вновь стал проявляться интерес к небольшим системам орошения с использованием местного стока. При этом, на наш взгляд, наиболее приемлема технология мелкоярусных систем лиманного орошения (ЛО).

Исследованиям в области применения лиманного орошения посвятили свои работы Б. Б. Шумаков, Н. С. Тимченко, Б. И. Туктаров, Б. А. Биримкулова и другие [1-4]. Оценивая практические результаты этих работ, следует отметить достаточно высокий экономический эффект от внедрения лиманного орошения в засушливых районах, где в качестве источника орошения использовались воды местного стока и оросительно-обводнительных систем.

При проектировании систем лиманного орошения важным вопросом является выбор оптимального процента обеспеченности стока. От расчетного процента обеспеченности стока зависят размеры площади лиманного орошения, регулярность ее затопления на протяжении длительного ряда лет, технические особенности системы лиманного орошения, размеры и

Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, № 4 (12) 2013 г., [141-156]
конструкции гидротехнических сооружений.

Увеличение площади лиманного орошения за счет более полного использования стока дает возможность значительно увеличивать производство продукции. Однако при расчете лиманов на сток многоводных лет интенсивность орошения земель в пределах обвалованной площади снижается, а капитальные вложения возрастают. Вот почему при проектировании лиманов каждый раз нужно обосновывать выбор расчетного процента обеспеченности стока.

Исходя из этих условий, была предпринята попытка решить задачу по определению оптимального процента обеспеченности стока.

Рядом авторов было предложено определение оптимального процента обеспеченности стока на основе расчета экономической эффективности [1, 5].

В условиях рыночной экономики при значительном колебании цен и влиянии ценового фактора не всегда удается дать объективную оценку в стоимостном выражении, так как через эти показатели недостаточно точно отражаются соотношения материально-технических, трудовых ресурсов и эффекта от мероприятия. Эта задача более успешно решается при использовании менее подверженных конъюнктуре рынка и рыночной экономики натуральных энергетических показателей. Поэтому для решения поставленной задачи использовалась Методика энергетической оценки агротехнологий в агроландшафтах, разработанная Российским государственным аграрным университетом имени К. А. Тимирязева в 2006 году [6].

Расчеты выполнялись для определения оптимального процента обеспеченности стока, при котором совокупные энергетические затраты на возделывание культур в севообороте компенсировались совокупной энергетической прибавкой урожая на фоне лиманного орошения.

На основании проанализированных нами данных участки, на которых перспективно устройство технологии лиманного орошения, должны

Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, № 4 (12) 2013 г., [141-156]
удовлетворять условиям ее применения, представленным в таблице 1.

Таблица 1 – Условия применения технологии лиманного орошения

Критерии	Допустимая глубина залегания пресных/соленых грунтовых вод, м	Допустимая минерализация грунтовых вод, г/л	Оптимальный уклон	Скорость впитывания за первый час, м/ч
Показатели	1,5/3	3	до 0,02	1-5

Отдельным критерием является показатель удобства сельскохозяйственного использования орошаемой территории. Он зависит от наличия и марки оросительной и сельскохозяйственной техники в хозяйстве.

Исходными данными для определения энергетических затрат послужили обобщенные данные для пяти крупнейших оросительных систем Ростовской области общей площадью 181 тыс. га, что составляет 68,4 % от общей площади орошения (264819 га). Системы расположены в различных почвенно-климатических зонах и отличаются по сельскохозяйственному назначению, источникам орошения, гидрогеологическим условиям и дренированности. По этим системам принимались в расчет водосборная площадь, средние уклоны, объемы сбросных вод, уровни грунтовых вод, почвенное плодородие. В результате энергетический расчет технологии возделывания культур проводился для следующих условий: удельная площадь орошения – 100 га, удельная водосборная площадь – 50 га, средний уклон – 0,003. Приняты технологические карты возделывания культур шестипольного кормового севооборота: 1, 2, 3 – люцерна; 4 – суданская трава на сено; 5 – кукуруза на силос; 6 – сорго на корм, а также технологическая карта устройства системы лиманного орошения.

В соответствии с данными технологических карт и дополнительными нормативными материалами производился расчет энергетических затрат и их эффективности на заданный процент обеспеченности стока с определенным шагом. Сводные данные по расчету энергетической эффективности приведены в таблице 2.

По полученным данным проводился предварительный математиче-

Таблица 2 – Сводные данные по энергетической оценке культур при лиманном орошении и на богаре для годов с разным процентом обеспеченности стока

Показатели	Обеспеченность стока, %								
	10	20	30	40	50	60	70	80	90
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Люцерна первого года жизни									
Энергетические затраты на технологию возделывания 100 га, ГДж									
– на богаре	3202,12	3195,27	3112,54	3056,46	2746,99	2701,42	2683,12	2415,24	2378,20
– при ЛО	37258,17	19424,88	11911,45	7896,17	5536,51	4095,43	3216,35	2705,24	2450,70
Разница энергетических затрат на технологию возделывания, ГДж/га	34056,05	16229,61	8798,91	4839,71	2789,52	1394,01	533,23	290,00	72,50
Энергетическая ценность урожая, ГДж/га									
– на богаре	616,18	540,37	475,19	420,63	376,69	343,37	320,68	308,62	307,17
– при ЛО	653,73	645,19	637,47	630,57	624,48	619,21	614,75	611,12	608,30
Разница энергетической ценности урожая, ГДж/га	37,55	104,82	162,28	209,94	247,79	275,83	294,07	302,50	301,12

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Люцерна 2-ого года жизни									
Энергетические затраты на технологию возделывания 100 га, ГДж									
– на богаре	3485,12	3315,27	3219,54	3108,46	2999,99	2902,42	2798,12	2505,24	2401,20
– при ЛО	38254,17	19981,88	12312,45	8198,17	5882,46	4312,68	3500,35	2909,02	2647,70
Разница энергетических затрат на технологию возделывания, ГДж/га	34769,05	16666,61	9092,91	5089,71	2882,47	1410,26	702,23	403,78	246,5
Энергетическая ценность урожая, ГДж/га									
– на богаре	666,7	629,99	597,37	568,84	544,39	524,03	507,75	495,56	487,46
– при ЛО	804,89	794,60	785,68	778,12	771,93	767,09	763,62	761,51	760,76
Разница энергетической ценности урожая, ГДж/га	138,19	164,61	188,31	209,28	227,54	243,06	255,87	265,94	273,30

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Люцерна 3-го года жизни									
Энергетические затраты на технологию возделывания 100 га, ГДж									
– на богаре	4100,12	3914,27	3728,15	3500,46	3321,18	3127,42	2992,12	2758,24	2690,08
– при ЛО	39321,82	20197,88	12852,64	8967,17	6300,46	4783,68	3601,35	3108,02	2897,70
Разница энергетических затрат на технологию возделывания, ГДж/га	35221,7	16283,61	9124,49	5466,71	2979,28	1656,26	609,23	349,78	207,62
Энергетическая ценность урожая, ГДж/га									
– на богаре	728,81	702,89	679,42	658,40	639,84	623,73	610,07	598,86	590,10
– при ЛО	933,50	891,82	856,14	826,45	802,75	785,04	773,33	767,61	767,88
Разница энергетической ценности урожая, ГДж/га	204,69	188,94	176,72	168,04	162,91	161,32	163,26	168,75	177,78

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Суданская трава на сено									
Энергетические затраты на технологию возделывания 100 га, ГДж – на богаре – при ЛО	9158,45	9045,3	8946,3	8541,1	8200,35	7864,32	7180,2	6420,5	5878,75
	52770,43	28797,13	18696,82	13299,07	10126,98	8189,74	7007,99	6320,89	5978,73
Разница энергетических затрат на технологию возделывания, ГДж/га	43611,98	19751,83	9750,52	4757,97	1926,63	325,42	151,65	101,59	99,98
Энергетическая ценность урожая, ГДж/га – на богаре – при ЛО	410,33	395,59	382,49	371,02	361,19	352,99	346,42	341,49	338,20
	560,46	550,53	541,15	532,31	524,02	516,27	509,06	502,40	496,29
Разница энергетической ценности урожая, ГДж/га	150,13	154,94	158,66	161,29	162,83	163,28	162,64	160,91	158,09

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кукуруза на силос									
Энергетические затраты на технологию возделывания 100 га, ГДж									
– на богаре	3661,2	3412,36	3297,64	2391,2	2308,98	2100,23	1812,99	1592,31	1406,58
– при ЛО	48298,27	24324,97	14224,66	8826,91	5654,82	3717,58	2535,83	1848,73	1506,57
Разница энергетических затрат на технологию возделывания, ГДж/га	44637,07	20912,61	10927,02	6435,71	3345,84	1617,35	722,84	256,42	99,98
Энергетическая ценность урожая, ГДж/га									
– на богаре	806,70	686,11	579,14	485,78	406,05	339,94	287,45	248,58	223,33
– при ЛО	911,49	818,85	740,91	677,69	629,18	595,37	576,28	571,89	582,21
Разница энергетической ценности урожая, ГДж/га	104,79	132,74	161,78	191,91	223,12	255,43	288,83	323,31	358,89

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сорго на корм									
Энергетические затраты на технологию возделывания 100 га, ГДж									
– на богаре	6918,30	6589,97	6312,10	6291,36	6188,22	6012,36	5764,12	5223,65	5106,68
– при ЛО	51998,37	28025,07	17924,76	12527,01	9354,91	7417,68	6235,93	5548,83	5206,66
Разница энергетических затрат на технологию возделывания, ГДж/га	45080,07	21435,10	11612,66	6235,65	3166,69	1405,32	471,81	325,18	99,98
Энергетическая ценность урожая, ГДж/га									
– на богаре	417,24	384,38	354,53	327,67	303,81	282,94	265,07	250,20	238,32
– при ЛО	433,50	421,36	410,86	401,99	394,76	389,16	385,20	382,87	382,18
Разница энергетической ценности урожая, ГДж/га	16,26	36,98	56,33	74,32	90,95	106,22	120,13	132,67	143,85
Общая прибавка энергии от возделывания культуры, ГДж/га	651,61	783,03	904,08	1014,78	1115,14	1205,14	1284,8	1354,08	1413,03
Общие энергетические затраты на возделывание культур по ЛО, ГДж/га	237375,9	111279,4	59306,51	32825,46	17090,43	7808,62	3190,99	1726,75	826,56

Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, № 4 (12) 2013 г., [141-156]
ский анализ полученной прибавки энергии дополнительного урожая от обеспеченности стока. Для предварительной оценки основных факторов использовался метод эмпирического подхода, который заключается в приближенном определении зависимости по экспериментальным данным.

На основании полученных данных графы «Общая прибавка энергии от возделывания культуры» таблицы 2 построен график зависимости общей прибавки энергии дополнительного урожая севооборота на фоне лиманного орошения (рисунок 1). По графику в первом приближении была установлена зависимость общей прибавки энергии, которую обозначили $A(x) = -0,0518x^2 + 14,694x + 509,85$. Достоверность аппроксимации составила $R^2 = 0,92$.

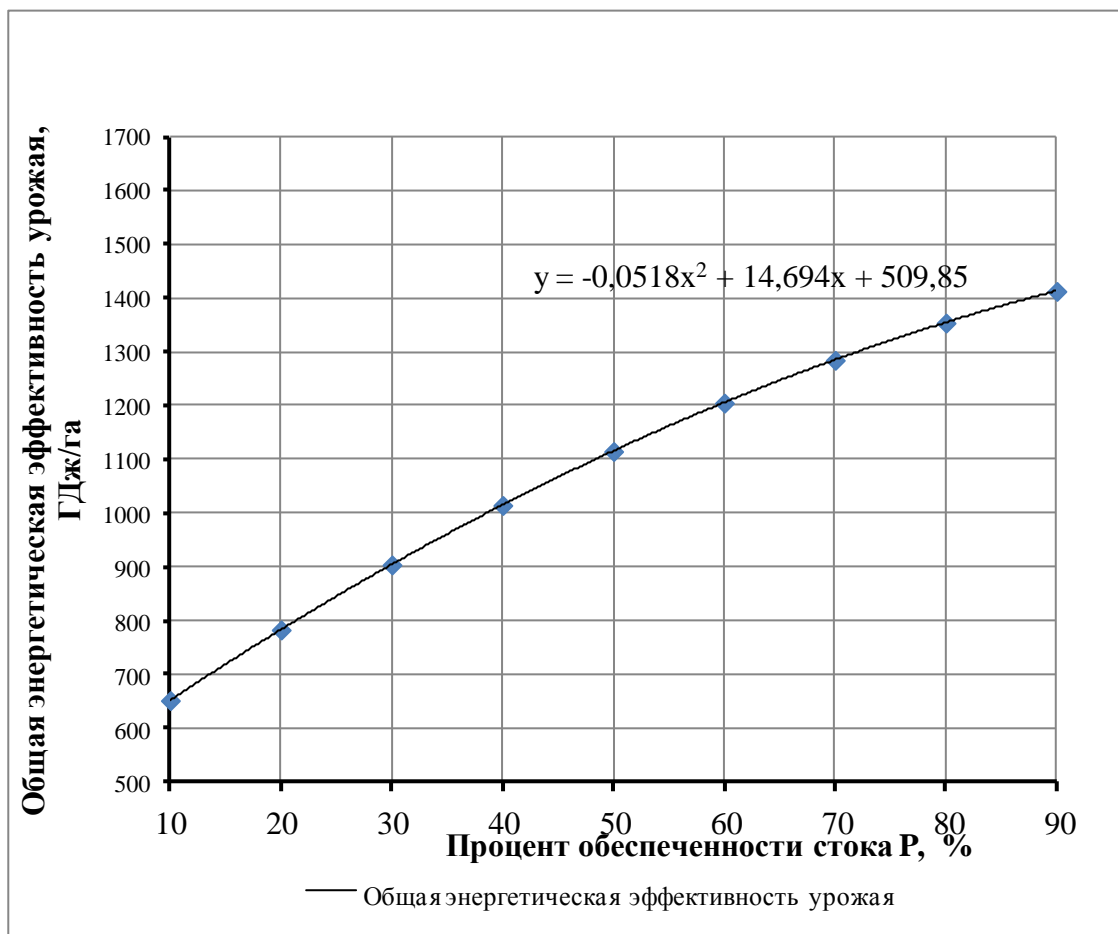


Рисунок 1 – График зависимости общей энергетической эффективности урожая от обеспеченности стока

Далее на основании данных графы «Общие энергетические затраты

Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, № 4 (12) 2013 г., [141-156]
 на возделывание культур по ЛО» таблицы 2 был построен график зависимости общих энергетических затрат от обеспеченности стока при лиманном орошении (рисунок 2). По графику была установлена зависимость общих энергетических затрат на возделывание культур кормового севооборота, которую обозначили зависимостью:
 $B(x) = 64,157x^2 - 8769,2x + 287678$. Достоверность аппроксимации составила $R^2 = 0,9$.

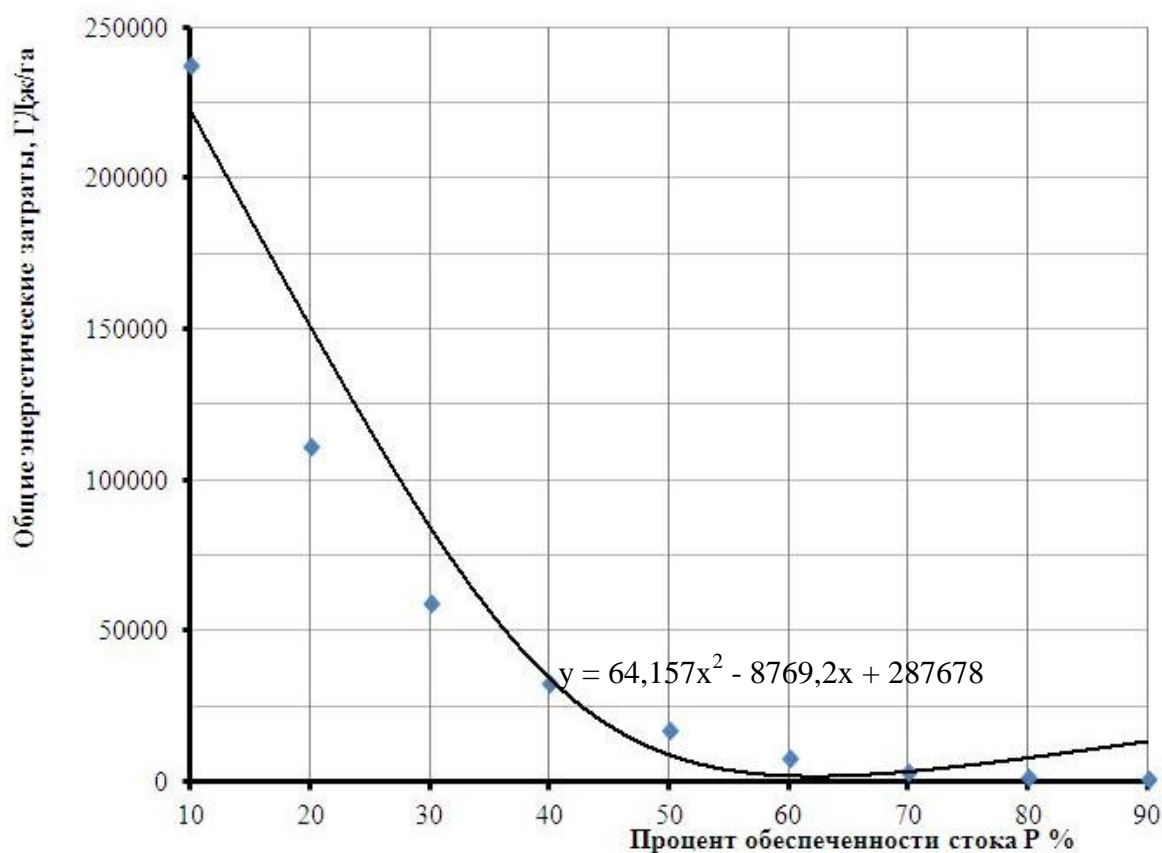


Рисунок 2 – График зависимости общих энергетических затрат от обеспеченности стока при лиманном орошении

Независимой переменной указанных функций является обеспеченность стока.

Зависимости определены с помощью приложения «Excel» и улучшены с помощью встроенных функций математической программы «MathCad».

Энергетическая эффективность $Z(x)$ складывается из полученной прибавки энергии от дополнительного урожая возделываемых культур $A(x)$ минус энергетические затраты на их возделывание $B(x)$. Функция энергетической эффективности выражается зависимостью: $Z(x) = A(x) - B(x) = -64,21x^2 + 8783,9x - 287168,15$. На рисунке 3 отображен график зависимости энергетической эффективности возделывания культур кормового севооборота от обеспеченности стока.

На первом этапе была найдена эластичность данной функции и локальный экстремум.

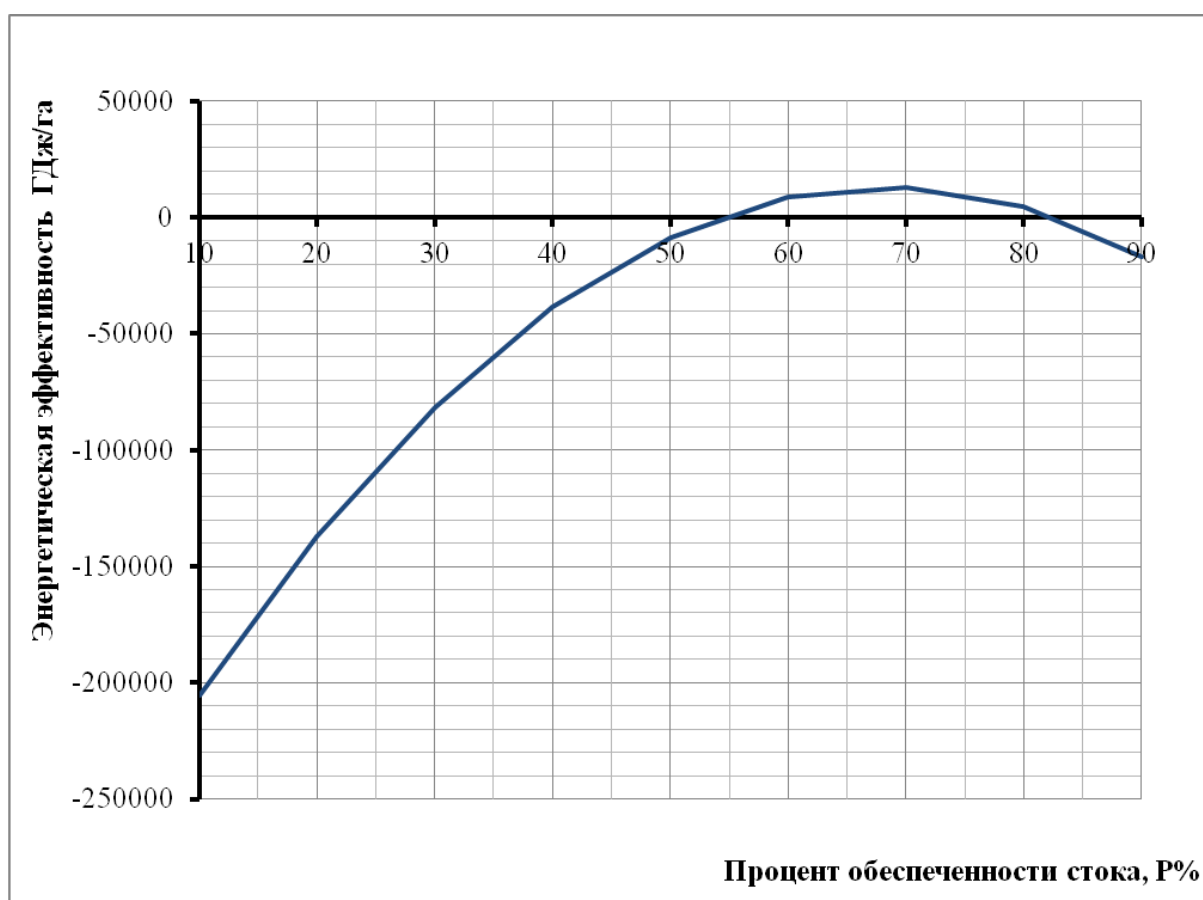


Рисунок 3 – График зависимости энергетической эффективности возделывания культур кормового севооборота от обеспеченности стока

Эластичность функции E_y – это коэффициент пропорциональности между относительными изменениями величин зависимой и независимой переменных, т. е. между $Z(x)$ и x , который определяется по формуле:

$$E_y = \frac{x}{Z(x)} \cdot Z'(x). \quad (1)$$

Другими словами, если, например, x увеличится на 1 %, то y увеличится на величину E_y .

Понятие эластичности было введено Аланом Маршаллом в связи с анализом функций спроса [7]. По существу, это понятие является чисто математическим и может применяться при анализе любых дифференцируемых функций.

Таким образом, имеем:

$$Z(x) = A(x) - B(x) = -64,21x^2 + 8783,9x - 287168,15, \quad (2)$$

$$Z'(x) = -128,42x + 8783,9, \quad (3)$$

$$E_y = \frac{128,42x^2 - 8783,9x}{64,21x^2 - 8783,9x + 287168,15}. \quad (4)$$

Например, при обеспеченности стока $Z = 75$ %, эластичность $E_y = -6,1$, отрицательность обусловлена монотонным убыванием функции $Z(x)$.

Точка экстремума определяется с помощью правила определения экстремума функции одной переменной. Максимум функции наблюдается при $x=68,5$ %, $Z(x) = 13240,26$ ГДж/га.

Из графика, представленного на рисунке 3, следует, что прибавка с одного гектара площади лиманного орошения возрастает до года 68 % обеспеченности стока и составляет 13240,26 ГДж/га, а после начинает снижаться. Поэтому можно заключить, что применение лиманного орошения в годы менее 68 % обеспеченности стока будет нецелесообразно.

Далее решались следующие задачи:

- определение величины оптимального процента обеспеченности стока, на который необходимо проектировать систему лиманного орошения;
- определение величины максимальной дополнительной энергии

Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, № 4 (12) 2013 г., [141-156]
урожая при использовании систем лиманного орошения.

Прибыль будет максимальной при условии равенства предельного дохода и предельных затрат, т. е. $A'(x) = B'(x)$.

Находим первые производные от двух функций и приравниваем их к нулю:

$$A(x) = -0,0518x^2 + 14,694x + 509,85, \quad (5)$$

$$B(x) = 64,157x^2 - 8769,2x + 287678, \quad (6)$$

$$\frac{d}{d(x)} A(x) = -0,1036x + 14,694, \quad (7)$$

$$\frac{d}{d(x)} B(x) = 128,314x - 8769,2. \quad (8)$$

После нахождения производных и решения совместно двух уравнений имеем $x = 68,5$.

Подставив найденные значения в функцию $Z(x) = A(x) - B(x)$, имеем $Z(68,5) = 13239,63$ ГДж/га.

Исходя из результатов, полученных путем предельного анализа, и представленного выше графика, делаем вывод о том, что оптимальное значение процента обеспеченности стока, на которое возможно проектировать системы лиманного орошения в условиях Ростовской области, лежит в диапазоне от 60 % до 75 %. При этом максимальный энергетический эффект достигается при $P = 68,5$ % и составляет 13239,63 ГДж/га.

Таким образом, применение методики энергетической оценки на основе использования технологических карт по устройству систем лиманного орошения и выращиванию сельскохозяйственных культур позволяет рассчитать процент обеспеченности стоком, на который оптимально проектировать системы лиманного орошения.

Список использованных источников

1 Шумаков, Б. Б. Гидромелиоративные основы лиманного орошения. – М.: Гидрометеиздат, 1979. – 215 с.

Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, № 4 (12) 2013 г., [141-156]

2 Тимченко, Н. С. Использование сбросных вод в зоне обводнительно-оросительных каналов, шоссейных и железных дорог / Н. С. Тимченко. – Новочеркасск: НИМИ, 1975. – 133 с.

3 Туктаров, Б. И. Мелиорация естественных лиманов Заволжья / Б. И. Туктаров, С. С. Ермилов, С. Н. Косолапов. – Саратов: Сарат. гос. агр. ун-т им. Н. И. Вавилова, 2002. – 124 с.

4 Биримкулова, Б. А. Системный метод изучения почвенно-мелиоративных процессов на лиманах Центрального Казахстана / Б. А. Биримкулова // Изв. НАН РК. – 2012. – С. 6-7.

5 Парамонов, М. И. Экономическая эффективность лиманного орошения в условиях юго-востока Ростовской области / М. И. Парамонов. – Новочеркасск, 1967. – 187 с.

6 Методология и методика энергетической оценки агротехнологий в агроландшафтах // Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева. – М., 2007. – 21 с.

7 Маршал, А. Принципы экономической науки / А. Маршал. – М.: Прогресс, 1993. – 312 с.

Кузьмичев Александр Анатольевич – Федеральное государственное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (ФГБНУ «РосНИИПМ»), младший научный сотрудник.
Контактный телефон: 8(8635) 26-51-03
E-mail: rosniipm@yandex.ru

Kuzmichev Aleksandr Anatolyevich – Federal State Budget Scientific-Research Establishment “Russian Scientific-Research Institute of Land Improvement Problems” (FSBSE “RSRILIP”), Junior Researcher.
Contact telephone number: 8 (8635) 26-51-03
E-mail: rosniipm@yandex.ru