

УДК 626.86: 631.459

**КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ОБЪЕМОВ НАНОСОВ, ПОСТУПАЮЩИХ  
В ОТКРЫТУЮ СЕТЬ С ОСУШЕННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ  
ЛИМИТИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ**

**В.Н. Карнаухов**, кандидат технических наук

**О.Г. Солтан**, аспирант

РУП «Институт мелиорации»

**Ключевые слова:** открытая мелиоративная сеть, эрозионные процессы, распределение наносов, заиление, трансформация торфяных почв, почвозащитная способность культур

**Введение**

Направленность эрозионно-аккумулятивного процесса характеризуется коэффициентом трансформации наносов по В.Н. Голосову или коэффициентом редукции стока наносов по Н.И. Алексеевскому, который равен отношению объема выноса материала с водосбора через рассматриваемый створ к объему эрозии на водосборе за то же время.

По нашим расчетам [1], модуль твердого стока канализированных рек-водоприемников Полесья изменяется в пределах от 2,8 т/км<sup>2</sup> (для устья р. Ясельда) до 4,5 т/км<sup>2</sup> (устье р. Лань), что составляет 1-2% от показателя модуля стока наносов, поступающих с полей пойменных осушительных систем за счет эрозионных процессов. Следует отметить, что низкий коэффициент трансформации наносов для водоприемников мелиоративных систем не означает количественное уменьшение их поступления. Учитывая увеличение интенсивности эрозионных процессов на поймах после их осушения, количество наносов, поступающих в русла рек, резко возросло. Поймы, служившие ранее зонами накопления наносов, после их сельскохозяйственного освоения стали источниками повышенного поступления наносов в открытую мелиоративную сеть.

Приводимые разными авторами значения величин эрозии варьируются в пределах от 0,1 до 2 мм в год для региона Беларуси. Такое значительное отличие обусловлено, главным образом, несовершенством способов учета эрозии, а также сложностью самого процесса. Нельзя признать надежным определение слоя эрозии только по мутности в водотоке, поскольку такой способ не учитывает сложного перераспределения наносов до попадания его в водоток, возможности их изъятия на формирование наилка на пойме и в открытой проводящей сети мелиоративных систем.

Следует отметить, что исследование плоскостной и линейной эрозии на мелиорируемых землях находится в начальной стадии изучения. Нельзя не учитывать того, что эрозия и русловые деформации – разные по своей сути процессы. Кроме различий в способе транспортировки наносов, разница между ними заключается и в том, что при эрозии имеет место переход неаллювиальных пород в аллювий, а при русловом процес-

се основным является переотложение аллювия.

В результате действия эрозионно-аккумулятивных процессов происходят изменения продольного и поперечного профилей каналов мелиоративных систем за счет размыва, обрушения откосов и заиления дна. Заиление и обмеление открытой сети каналов приводит к их интенсивному зарастанию в вегетационный период, резкому (в 3-7 раз) уменьшению пропускной способности русла, а следовательно, к затоплению и подтоплению сельскохозяйственных угодий на осушенных землях при прохождении паводков даже расчетной обеспеченности.

Таким образом, среди причин ухудшения технического состояния мелиоративных систем на первом месте стоит заиление открытой сети в результате проявления эрозионно-аккумулятивных процессов. Так, около 50 % всех затрат на техническое обслуживание сети составляют затраты на подчистку от наносов.

По исследованиям РУП «Институт почвоведения и агрохимии» с одного гектара сельскохозяйственных угодий на мелиорированных землях, прилегающих к открытой мелиоративной сети, с поверхностным стоком или ветром выносятся в среднем ежегодно до 10-15 т твердой фазы почвы, 150-180 кг гумусовых веществ, до 10 – азота, 4-5 – фосфора и калия, 5-6 – кальция и магния. При этом около 80 % твердого стока, поступившего в открытую сеть, аккумулируется в виде отложений наносов и может быть частично возвращено обратно в процессе подчистки, а оставшаяся часть транспортируется в реки-водоприемники, ухудшая их гидравлический и русловой режимы.

Потери питательных веществ и гумуса, ухудшение агрофизических и агрохимических свойств приводят к снижению плодородия эродированных почв. При этом потери урожая в зависимости от степени эродированности земель составляют для разных культур от 5 до 60 %, а продукты эрозионных процессов приводят к заилению и загрязнению водотоков нитратами, фосфатами, хлоридами и другими веществами, ухудшению качества поверхностных и грунтовых вод.

Несмотря на большое количество исследований, направленных ранее на разработку методов количественной оценки эрозионных процессов, все предложенные до настоящего времени уравнения носят эмпирический и, следовательно, часто очень приближенный характер для конкретных объектов.

Кроме того, эрозионные процессы, протекающие на мелиоративных системах, оказывают комплексное влияние на все элементы открытой сети – помимо непосредственного разрушения покрова осушенных почв происходит заиление водоприемников. Оценить такое воздействие эрозионных процессов на конкретную мелиоративную систему при помощи существующих методик, адаптированных к условиям Беларуси, представляется затруднительным.

Поэтому разработка методик оценки эрозионной опасности осушенных торфяников на основе объектов-аналогов применительно к типичным почвенно-климатическим

регионам республики с учетом временного фактора старения мелиоративных систем весьма актуальна.

**Результаты исследований и их обсуждение**

В основу методики оценки количественного распределения составляющих наносов, поступающих в открытую сеть, положен балансовый метод.

При выборе объекта аналога для исследования эрозионно-аккумулятивных процессов предпочтение было отдано мелиоративной системе РУП «Полесская опытная станция мелиоративного земледелия и луговодства» (РУП «ПОСМЗил»), поскольку на её полях уровень ведения агротехники относится к среднему, имеются долговременные метеорологические, гидрометрические и геологические наблюдения и она наиболее точно отражает типичную почвенную комбинацию исследуемого района. Поля на мелиоративной системе имеют границы на протяжении всего длительного срока наблюдений.

На рис. 1 представлена схема опытного участка мелиоративной системы площадью 1437 га, примыкающего к магистральному каналу Б-1 и агротехнологические группы земель по [2].

При составлении баланса между двумя расчетными створами выделялся опытный участок канала, в который впадает осушительная сеть мелиоративной системы с определенной площадью водосбора (площадью отдельного примыкающего участка), составлялась его схема с указанием на ней границы участка и впадающих каналов следующего порядка. Расчетные створы назначались с учетом участков различной интенсивности перераспределения наносов.

Русловой режим на отдельно выделенном участке канала (рис. 2) формируется за счет следующих составляющих:

- наносов, формирующихся за счет ветровой эрозии (дефляции)  $g_b$  ;
- распределенного поступления наносов от водной эрозии через бровки канала  $g_{бр}$ ;
- сосредоточенного поступления наносов с потоком через верхний створ канала  $\tau_b$ ;
- сосредоточенного выноса наносов с потоком через нижний створ канала,  $\tau_n$ ;
- сосредоточенного поступления наносов с

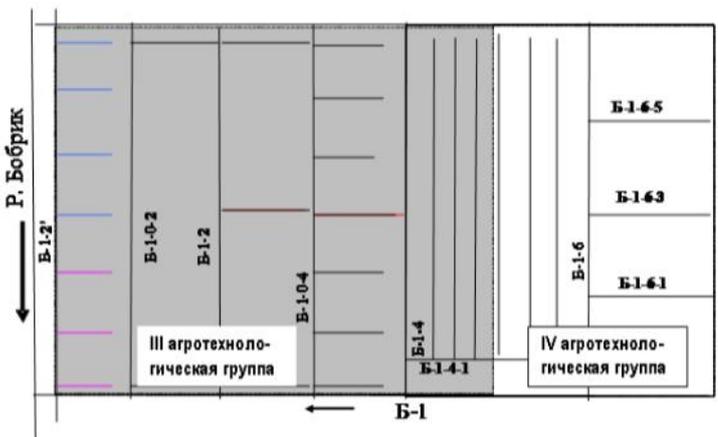


Рис. 1 – Схема опытного участка мелиоративной системы РУП «ПОСМЗил» и объемы заиления поперечных сечений каналов, м<sup>2</sup>

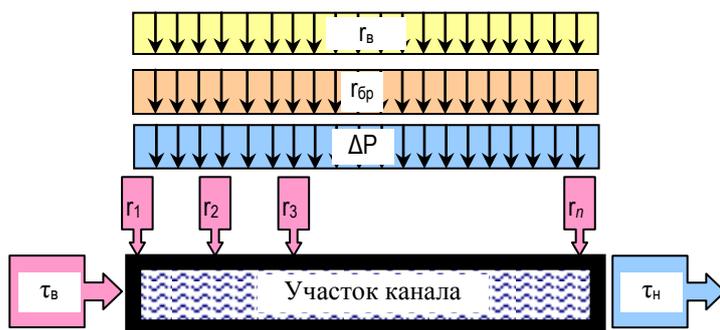


Рис. 2 – Схема формирования твердого стока на участке канала

потоком по впадающим каналам следующего порядка,  $\Gamma_n$ ;

- удельных деформаций русла  $\Delta P$ , обусловленных осаждением отдельных фракций продуктов эрозии на рассматриваемом участке.

Баланс поступления и выноса наносов за определенный промежуток времени (например, за год) на рассматриваемом участке канала определялся по уравнению следующего вида:

$$\tau_b + \delta - \tau_n - \Delta P L = 0, \quad (1)$$

где  $\tau_b$  и  $\tau_n$  – соответственно количество продуктов эрозии, поступивших через верхний и нижний створы за счет транспортирующей способности потока, кг/год;  $\delta$  – количество наносов, поступивших на рассматриваемый участок за счет функционирования мелиоративной системы (сюда входят все наносы, поступившие через впадающую осушительную сеть ( $\delta_c = \sum \Gamma_n$ ) от водной эрозии через бровки ( $\delta_{бр} = \Gamma_{бр} L$ ) и за счет дефляции ( $\delta_b = \Gamma_b L$ ), кг/год;  $L$  – длина участка канала, м;  $\Delta P$  – удельная деформация русла, кг/(м год).

В качестве основных количественных показателей, характеризующих эрозионное состояние мелиоративной системы, приняты следующие:

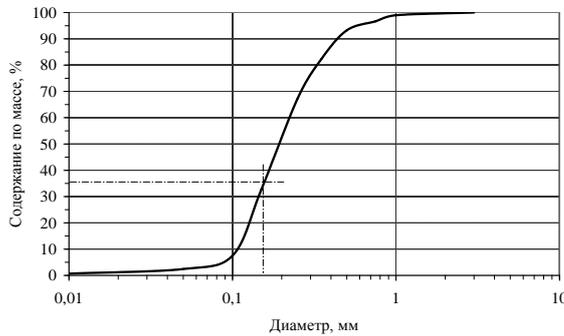
- удельное количество наносов, поступающих на рассматриваемый участок канала за год с примыкающего массива площадью  $F$ , га, или модуль твердого стока  $\mu_t$ , кг/(га год), который определяется по формуле:  $\mu_t = \delta / F$ ;

- удельный объем заиления открытой сети  $\Delta W$ , м<sup>2</sup>/год, при плотности отложений  $\rho_0$ , кг/м<sup>3</sup>, определяемый по формуле:  $\Delta W = \Delta P / \rho_0$ ;

- транспортирующая способность потока в каналах мелиоративных систем  $\tau_b$ , кг/м<sup>3</sup>, которая определялась по следующей зависимости Е.А. Замарина для водотоков, где мутность не превышает 5 кг/м<sup>3</sup>:

$$\tau_t = a (\nu^3 \omega^{-b} R I)^{0.5}, \quad (2)$$

где  $\nu$  – средняя скорость, м/с;  $R$  – гидравлический радиус, м;  $I$  – уклон поверхности потока;  $\omega$  – средняя гидравлическая крупность влекаемых наносов (при отсутствии значений измеренных параметров на основании материалов исследований рекомендуется принимать все мелкие фракции проб донных отложений включительно до  $d_{30} \dots d_{40}$  по массе), м/с, которая находится по формуле:  $\omega = \sum \omega_c p_i / \sum p_i$  ( $\omega_c$  – средняя



**Рис. 3 – Гранулометрическая кривая донных отложений наносов магистрального канала Б-1 мелиоративной системы РУП «ПОСМЗил»**

гранулометрического состава донных отложений магистрального канала Б-1 (мелиоративная система РУП «ПОСМЗил»), а в табл. 1 – расчет средней гидравлической крупности влекаемых наносов.

Средняя гидравлическая крупность фракций донных отложений включительно до  $d_{35}=0,15$  мм по массе (рис. 3) составляет  $\omega=6,78$  мм/с (табл. 1) и принимается для расчетов в качестве средней гидравлической крупности влекаемых наносов.

Удельная деформация русла, обусловленная осаждением отдельных фракций продуктов эрозии на рассматриваемом участке (интенсивность заиления) определялась по данным инструментальных измерений поперечных сечений на различные даты.

Модуль твердого стока определялся на основании балансовых расчетов с применением уравнения (1). В качестве примера на рис. 4 представлена схема динамики руслового режима по длине канала Б-1 (мелиоративная система РУП «ПОСМЗил»), на

гидравлическая крупность отдельной фракции, м/с;  $p_i$  – содержание отдельной фракции, %); а и b – коэффициенты, равные соответственно 0,022 и 3,0 при  $0,008 \geq \omega \geq 0,002$  м/с и 11 и 1,0 при  $0,002 > \omega \geq 0,0004$  м/с .

Каждая из составляющих может быть определена при знании других, в зависимости от наличия исходных данных, из уравнения (1). В качестве примера определения гидравлической крупности на рис. 3 приведена кривая

**Таблица 1 – Расчет средней гидравлической крупности влекаемых наносов для магистрального канала Б-1 мелиоративной системы РУП «ПОСМЗил»**

Диаметр фракций d, мм	Содержание фракций $p_i$ , %	Содержание фракций нарастающим итогом $\Sigma p_i$ , %	Гидравлическая крупность $\omega_i$ , мм/с	Среднее значение гидравлической крупности отдельных фракций $\omega_c$ , мм/с	Средняя гидравлическая крупность $\omega$ , мм/с
0,01	0,65	0,65	0,068	0,0227	0,0227
0,05	1,75	2,4	1,717	0,7089	0,5230
0,1	5,1	7,5	5,12	3,2673	2,3891
0,15	25,05	32,55	11,5	8,0978	6,7824
0,25	34,65	67,2	22,67	16,7721	11,9333
0,35	15,1	82,3	33,91	28,1020	
0,5	10,9	93,2	50,71	42,0292	
0,75	3,45	96,65	78,71	64,1991	
1	2,3	98,95	106,71	92,3556	
3	1,05	100,00	232,5	165,57404	

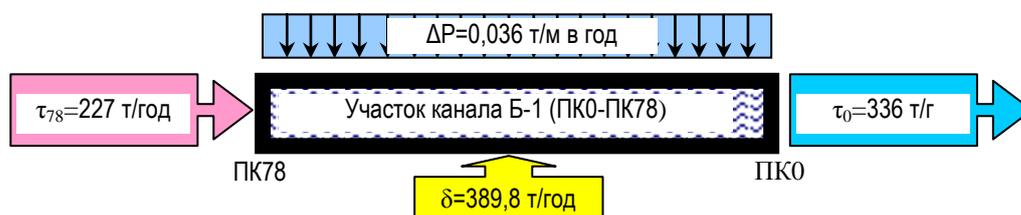


Рис. 4 – Схема динамики руслового режима на участке магистрального канала Б-1 мелиоративной системы РУП «ПОСМЗил» за среднестатистический год

основании которой с применением уравнения (1) рассчитано поступление наносов в канал с примыкающего к нему участка мелиоративной системы:

$$\delta = \tau_0 - \tau_{78} + \Delta P L = 336 - 227 + 0,036 \cdot 7800 = 389,8 \text{ (т / год)}, \quad (3)$$

т.е. при площади  $F=1437$  га среднегодовое удельное количество наносов, поступившее на рассматриваемый участок канала с мелиоративной системы за счет водной и ветровой эрозии, составляет  $\mu_{\tau} = 0,271$  т/га в год. Из них  $\mu_{\tau_0} = 0,195$  т/га в год (или 280,8 т/год) откладывается на рассматриваемом участке магистрального канала, а  $\mu_{\tau} = 0,076$  т/га в год (или 109 т/год) выносятся водой за пределы мелиоративной системы.

Аналогичным образом определялись объемы наносов, поступающих с примыкающих полей в каналы последующего порядка.

Для торфяных почв мощность слоя изменяется по площади полей не только от глубины залегания минерального дна, но и в результате ее неравномерной осадки, сработки и перераспределения в результате эрозии. Степень трансформации осушенных торфяных почв при определении интенсивности эрозионных процессов рекомендуется разделить во времени на два этапа:

- начальный этап использования при наличии мощности торфяной залежи  $S_{ост} > S_{кр}$  (35-40 см), с содержанием органического вещества  $M_i > M_{кр}$  ( $M_{кр} = 350-450$  т/га);

- этап повышенной минерализации пахотного горизонта ( $S_{ост} \leq S_{кр}$ ) с содержанием органического вещества  $M_i \leq M_{кр}$ , при котором в результате припашки на отдельных повышенных элементах рельефа минерального подстилающего слоя, перемешивания его в пахотном слое с торфом и перераспределения по площади при обработке почвы сформированы органоминеральные почвы.

При отсутствии данных фактических определений содержание органического вещества в рассматриваемый момент времени  $M_i$ , т/га рекомендуется рассчитывать по следующей простой формуле [2]:

$$M_i = M_0 - K_0 t, \quad (4)$$

где  $M_0$  – содержание органического вещества в торфе на поле в зафиксированный год (например, на первый год после осушения), т/га;  $t$  – количество лет после опре-

**Таблица 2 – Интенсивность снижения содержания органического вещества**

Агродефляционный индекс севооборота $K_b$	Значение показателя $K_o$ , т/га, при степени трансформации почвы	
	$S_{ост} > S_{кр}$	$S_{ост} \leq S_{кр}$
0,98 (100% травы)	3,2	5,6
0,70 (севооборот)	5,3	9,2
0,12 (100% пашня)	8,9	15,2

деления содержания органического вещества;  $K_o$  – показатель, характеризующий интенсивность снижения содержания органического вещества, т/га в год.

По обобщенным результатам исследований различных авторов на мелиоративной системе РУП «ПОСМЗил»  $K_o$  зависит как от структуры использования, так и от степени трансформации торфяных почв (табл. 2).

Из анализа результатов исследований заиления каналов различного порядка установлено, что для осушенных торфяных почв удельный вес наносов  $\Delta P$ , отложившихся в каналах открытой сети, рекомендуется разделить на две составляющие – от линейной  $\Delta P_p$  и плоскостной  $\Delta P_n$  эрозии.

Интенсивность отложения наносов в каналах за счет линейной водной эрозии  $\Delta P_p$ , т/(м год), изменяется во времени и пространстве. При отсутствии данных по деформациям каналов во времени ее приближительные количественные показатели можно определять по следующим полученным на опытном участке РУП «ПОСМЗил» степенным зависимостям от периода  $t$ , лет, после проведения ремонтных работ:

– для осушителей и собирателей:  $\Delta P_p = 0,21t^{-1,5}$ ;

– для проводящих каналов:  $\Delta P_p = 0,26t^{-1,5}$  (при  $S_{ост} \leq S_{кр}$ );

$\Delta P_p = 0,11t^{-1,5}$  (при  $S_{ост} > S_{кр}$ ).

Интенсивность отложения в каналах наносов от плоскостной эрозии  $\Delta P_n$ , т/(м год), рекомендуется принимать постоянной во времени и усредненной по всей открытой сети. Ее приближенное значение можно рассчитывать по следующей эмпирической формуле, полученной по результатам балансовых расчетов на опытном участке РУП «ПОСМЗил»:

$$\Delta P = 0,35 \mu_{\tau} F / L_c, \quad (5)$$

где  $L_c$  – протяженность открытой сети, м, на отдельном участке площадью  $F$ , га;  $\mu_{\tau}$  – составляющая потеря органического вещества за счет плоскостной эрозии, т/га в год, которая принимается по табл.3.

**Таблица 3 – Составляющая потерь органического вещества за счет плоскостной эрозии**

Агродефляционный индекс севооборота $K_b$	Потеря на эрозию, т/га в год, при степени трансформации почвы	
	$S_{ост} > S_{кр}$	$S_{ост} \leq S_{кр}$
0,98 (100% травы)	0,0	0,0
0,70 (севооборот)	2,0	3,3
0,12 (100% пашня)	5,3	9,0

Среднегодовое распределение наносов по элементам мелиоративной сети от действия эрозионно-аккумулятивных процессов в % от плоскостной эрозии на полях, полученное по балансовым расчетам для опыт-

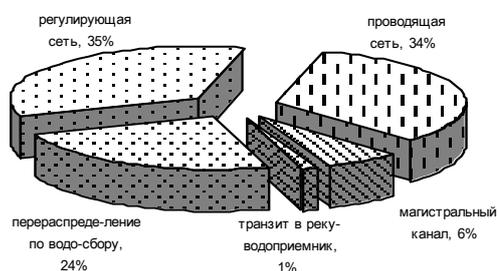


Рис. 5 – Распределение продуктов эрозии с полей по опытному участку по состоянию на 2008 г.

ного участка мелиоративной системы РУП «ПОСМЗил», приведено на рис. 5.

Представленная на рис. 5 диаграмма свидетельствует, что избыточное поступление с полей продуктов эрозии в верхние звенья осушительной сети превышает энергетические возможности потоков по переносу наносов, и большая часть эродируемого материала (69%) накапливается в регулирующей и проводящей сети, т.е.

каналы являются действующими отстойниками наносов.

### Заключение

Каждый тип руслового процесса определяет внешний облик русла, которое деформируется по определенной схеме. Характер этих деформаций определяется тремя основными факторами: водным режимом, особенностями стока наносов и так называемыми ограничивающими факторами. Расчет деформаций от ветровой и водной эрозии рекомендуется осуществлять на основе применения уравнения баланса наносов.

Из приведенного выше анализа данных наблюдений следует, что водопроводящие и осушительные каналы не в состоянии транспортировать то количество наносов, которое поступает в них с мелиоративной системы. Для поддержания их в исправности кроме текущего ухода необходимо производить регулярную очистку каналов механизированным путем.

Анализ данных полевых наблюдений и литературных источников по изучению эрозионно-аккумулятивных процессов, выполненный на опытных участках, позволил сделать вывод, что обмеление каналов, проложенных в торфяно-минеральных грунтах, зависит от следующих основных факторов:

- стадии трансформации осушенных торфяных почв;
- структуры использования прилегающих осушенных земель;
- порядка водотока;
- времени, прошедшего после ремонта.

Стадию трансформации осушенных торфяников рекомендуется разделить на два этапа:

- начальный этап использования  $S_{ост} > S_{кр}$  или  $M_i > M_{кр}$ ;
- этап повышенной минерализации пахотного горизонта  $S_{ост} \leq S_{кр}$  или  $M_i \leq M_{кр}$ .

В качестве количественной характеристики, учитывающей структуру использова-

ния прилегающих осушенных земель, предлагается принять коэффициент почвозащитной

способности сельскохозяйственных культур (агродефляционный индекс севооборота).

Результаты балансовых расчетов показывают, что одним из главных факторов заиления открытой мелиоративной сети является количество наносов, поступивших на рассматриваемый участок канала за счет функционирования мелиоративной системы, зависящее от элементов системы земледелия, основными из которых являются структура посевных площадей и обработка почвы.

На основании анализа результатов исследований заиления каналов рекомендуется для осушенных торфяных почв удельный вес наносов, отложившихся в открытой сети, разделить на две составляющие – от линейной и плоскостной эрозии.

В связи с процессом сработки торфа приведенные объемы заилений будут изменяться в сторону увеличения, поэтому необходимо продолжить исследования по изучению трансформации руслового режима открытой проводящей сети для прогнозирования объемов работ на подчистку наносов и разработку мероприятий, направленных на их уменьшение.

### **Литература**

1. Карнаухов, В.Н. Динамика эрозионно-аккумулятивных процессов на осушенных поймах / В.Н. Карнаухов // Мелиорация. – 2010. – №1 (63). – С. 24-35.
2. Методические указания по прогнозированию водно-эрозионных и дефляционных процессов на обрабатываемых землях Беларуси./ РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси». – Минск, 2006. – 43 с.
3. Карнаухов, В.Н. Современные проблемы и пути повышения эффективности использования осушенных торфяных почв Полесья / В.Н. Карнаухов // Вестник Национального университета водного хозяйства та природокористування. – Рівне – 2007. – №4 (40). – С. 232-239.

### **Summary**

***Karnaukhov V., Soltan O. Quantitative assessment of pump volumes included into open system from drained peat soils considering change of limiting factors***

Quantitative assessment of pumping volumes by water and wind from field surfaces of reclamation systems, its re-distribution and accumulation in open drainage system by application of the existing techniques and a developed one. Assessment of open reclamation system current state considering transportation duty of pumps. Complex impact of water, erosion and deflationary processes on components of open reclamation system.

*Поступила 15 июля 2010 г.*