Экономические риски последствий эрозии как элемент оценки технического уровня гидромелиоративных систем

Поступила 02.02.2019 г. / Принята к публикации 19.06.2019 г.

© Брыль Сергей Валерьевич^{1, 2} , Зверков Михаил Сергеевич^{1, 2, 3}

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский политехнический университет», г. Коломна, Россия

² Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский центр экологии и строительства», г. Коломна, Россия

³ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга», г. Коломна, Россия

Аннотация. В статье рассматривается вопрос учета экономических и экологических рисков последствий ирригационной эрозии. Проводится анализ возможности использования результатов расчета рисков в оценке технического уровня гидромелиоративных систем. Отмечается, что в России ежегодно на 0,5 млн га увеличивается площадь земель, подверженных эрозии. Ущерб при этом может достигать 18...25 млрд руб. в год, а валовой недобор сельскохозяйственной продукции составляет около 13,2 млн тонн в зерновом эквиваленте. Разработаны элементы методики определения стоимости экологических и экономических рисков ирригационной эрозии, которые включают определение рисков на и вне территории агрогеосистемы. Отмечается, что при поливе дождевальной машиной «Фрегат» за один полив разбрызгивается 60 т/га почвы, а дальне-струйным агрегатом ДДН-70 – 317 т/га, что приводит к появлению на поверхности почвы кольматированного слоя 3 и 12 мм соответственно. При этом эколого-экономические риски могут составить 213,6 и 215,2 тыс. руб. соответственно. В результате расчетов было показано, что оценка эколого-экономического ущерба от ирригационной эрозии может являться элементом оценки технического уровня гидромелиоративных систем. Такая оценка нужна прежде всего при проектировании мероприятий по техническому перевооружению и реконструкции, а также для сценарных расчетов эксплуатационных режимов проектов новых гидромелиоративных систем.

Ключевые слова. Агроэкосистемы, мелиорация, оросительные системы, ирригационное оборудование, дождевальные машины и установки, эрозия, рис, расчет риска, экология, устойчивое развитие, устойчивое сельское хозяйство.

Economic risks of erosion effects as an part of assessment of the technical level of hydromeliorative systems

Received on February 06, 2019 / Accepted on June 19, 2019

© Bryl Sergei Valerevich^{1, 2} , Zverkov Mikhail Sergeevich^{1, 2, 3}

¹ Moscow Polytechnic University, Kolomna, Russia

² Limited liability company «Scientific-research center of environmental engineering and construction», Kolomna, Russia

³ Federal state budgetary scientific institution «All-Russian scientific research Institute «Raduga», Kolomna, Russia

Abstract. The issue of taking into account of the economic and environmental risks of irrigation erosion consequences is considered in the article. The analysis of the possibility of using the results of risk calculation in assessing of the technical level of hydromeliorative systems is given. It is noted that in Russia, the area of land subjected to erosion increases by 0.5 million hectares annually. The damage can reach 18...25 billion rubles per year, and the gross shortage of agricultural products is about 13.2 million tons in grain equivalent. Elements of the methodology for determining the value of environmental and economic risk of irrigation erosion was prepared, which include the identification of risks on and off site agroecosystems. It is noted that 60 t/ha of soil is splashed per one watering by the sprinkler machine «Frigate», and 317 t/ha per one watering by the long-range irrigation device DDN-70. It leads to the occurrence on the soil surface of a colmatated layer of 3 and 12 mm, respectively. In this connection the environmental and economic risks can be 213.6 and 215.2 thousand rubles, for the sprinkler machine «Frigate» and the long-range irrigation device DDN-70 respectively. It was shown that the assessment of the ecological and economic damage caused by irrigation erosion can be elements of the assessment of the technical level of irrigation systems as a result of calculations. Such assessment is needed primarily in the design of measures for technical re-equipment and reconstruction, as well as for scenario calculations of operating conditions of projects of new hydromeliorative systems.

Keywords. Agroecosystems, land melioration, irrigation systems, irrigation equipment, sprinklers, erosion, risk, risk assessment, ecology, sustainable development, sustainable agriculture.

Введение. Комплексное изучение экологических проблем для их своевременного предупреждения и решения является одной из важнейших сторон устойчивого развития любого государства. В основу такого подхода заложена концепция сохранения окружающей среды для настоящих и будущих поколений. В этой связи особенно актуальным и важным для планирования эффективной политики принятия решений в области охраны природы является экологическая и экономическая оценка различных проблем геосистем, находящихся в условиях антропогенного стресса.

Та часть Российской Федерации, где сосредоточены основные мощности отрасли растениеводства, расположена в зоне рискованного земледелия, и производители ежегодно сталкиваются с потерями урожая в результате последствий погодных аномалий и различных видов деградиционных процессов в почвах (рис. 1, [1]). Одновременно с этим у аграриев возникают экономические и экологические риски, связанные со снижением продуктивности агрогеосистем.

Рис. 1. Ежегодный недобор сельскохозяйственной продукции в результате различных погодных аномалий (млн тонн в зерновых единицах)

Почва является важнейшим и одновременно ограниченным стратегическим природным ресурсом, имеющим огромную значимость в обеспечении экономической и продовольственной безопасности страны. Именно этот ресурс

наиболее подвержен деградиационным процессам. Так одной из наиболее опасных экологических проблем сельскохозяйственных агроландшафтов является эрозия почв. Однако помимо причин естественного порядка (засухи, проливные дожди и др.) экстенсивные и устаревшие технологии ведения сельскохозяйственного производства также могут привести к эрозии и снижению продуктивности почвы [2, 3, 4]. К таким технологиям, в частности, следует отнести использование аграриями устаревшего поливного оборудования, которое в большинстве случаев способствует возникновению и развитию различных форм ирригационной эрозии.

Проводимая в настоящее время аграрная политика Российской Федерации в области мелиорации направлена на техническое перевооружение, реконструкцию и строительство новых гидромелиоративных систем. Инженерные мероприятия по повышению технического уровня систем должны основываться на предварительном анализе природных и антропогенных рисков, которые вызывают существенные экономические и экологические потери и делают производство нерентабельным. Поэтому **актуальность и практическая значимость данной работы** определяется тем, что учет рассматриваемых экономических и экологических последствий ирригационной эрозии необходим для более объективного и эффективного анализа технического уровня гидромелиоративных систем и финансовой политики по дифференцированному распределению средств на различные инженерно-технические мероприятия, реализуемые в настоящем времени и планируемые в будущем.

Цель работы заключалась в разработке общего принципа методологического подхода для оценки экономических рисков ирригационной эрозии почв как элемента оценки технического уровня гидромелиоративных систем.

Материалы и методы исследований. Технические, экономические, эксплуатационные, технологические и другие характеристики гидромелиоративных систем в целом определяют их технический уровень, который определяется путем сравнения этих показателей с нормативными (проектными).

Под техническим уровнем состояния гидромелиоративной системы понимают совокупность подверженных изменению в процессе эксплуатации ее характеристик, определяемых технической документацией. По мнению ряда авторов, оценка технического состояния должна учитывать назначение гидромелиоративной системы, то есть получение высоких и устойчивых урожаев при условии сохранения плодородия почв и охраны окружающей среды [5].

В зависимости от характера или стадии преобладающего эрозионного процесса эколого-экологический ущерб возникает в границах орошаемого участка и/или за его пределами. Таким образом, экономические потери от последствий ирригационной эрозии следует понимать как ущерб, непосредственно возникший на участке, и ущерб, возникший за пределами участка. Подобранный подход можно представить в виде следующей зависимости [4]:

$$C = \Sigma C_{\text{on-site}} + \Sigma C_{\text{off-site}}, \quad (1)$$

где C – сумма эколого-экономических ущербов всех возникших последствий ирригационной эрозии, руб.; $\Sigma C_{\text{on-site}}$ – то же, но в границах орошаемого участка, руб.; $\Sigma C_{\text{off-site}}$ – то же, но за пределами орошаемого участка, руб.

При этом учитывают, что изменение состояния почвы в результате проведения мелиоративных мероприятий оценивается с экологических и социально-экономических аспектов. Экологический аспект определяется естественным плодородием почвы, то есть запасами гумуса. Социально-экономические функции почв определяются экономическим плодородием (продуктивностью), которое зависит главным образом от хозяйственных факторов (например, применение минеральных и органических удобрений и др.) [6]. Поэтому сам ущерб в границах или за пределами орошаемого участка можно представить в виде зависимости экологических и экономических потерь:

$$\Sigma C_{\text{on-site}} = C_i N + C_i P + C_i K + C_j (Y_{\text{pot}} - Y) + \Sigma C_k; \quad (2)$$

$$\Sigma C_{\text{off-site}} = \Sigma C_s Q_i, \quad (3)$$

где C_i – совокупная стоимость внесения и приобретения одного из элементов питания NPK, руб.; N, P и K – количество вынесенных в результате эрозии питательных элементов соответственно азота, фосфора и калия, т; C_j – стоимость 1 т сельскохозяйственной продукции, руб/т; Y_{pot} – потенциально возможный урожай при данных условиях (или проектный урожай данной мелиоративной системы), т/га; Y – фактически собранный урожай, т/га; C_s – стоимость тонны

плодородного слоя грунта, руб./т; Q_i – количество аккумулялированных за пределами орошаемого массива наносов (смытой плодородной почвы), т; ΣC_k – сумма затрат на прочие работы (например, рытье от капельной эрозии и др.).

В данной работе приводится оценка экономических рисков ирригационной эрозии при поливе дождеванием для использования такой оценки при определении технического уровня гидромелиоративных систем.

Результаты и обсуждение. Одним из элементов технического уровня систем дождевания является технологическое ограничение интенсивности дождя i , которая не должна превышать скорости k его впитывания в почву. Однако даже такой способ дождевания не способен обеспечить полного отсутствия, например, капельной эрозии (разбрызгивания почвы), в результате чего после полива возникает почвенная корка, удаление которой приводит к обязательному возникновению дополнительных финансовых затрат.

Если, например, предположить, что поверхностный сток при поливе отсутствует, то в зависимости (1) ущерб $C_{\text{off-site}} = 0$. Анализ такого искусственного исключения возможности возникновения поверхностного стока на орошаемом массиве показывает, что для практических целей это не оправдано, поскольку не учитывает многофакторность эрозионного процесса. Агрогеосистема не является полностью замкнутой, она функционирует внутри природной геосистемы и подчиняется тем же законам. Поэтому на орошаемых землях мелиоративного фонда на процесс эрозии также влияют различные метеорологические факторы, прежде всего такие как природные осадки и их интенсивность, скорость ветра. Поэтому мелиоративное воздействие всегда будет иметь внешние последствия и $C_{\text{off-site}} \neq 0$ (разбрызганные частицы почвы в результате капельной эрозии могут уноситься ветром, смываться дождевым стоком природных осадков и др.).

Для упрощения рассматриваемого вопроса в данной работе приняты граничные условия: $C_{\text{off-site}} = 0$, интенсивность дождя не превышает впитывающей способности почвы, то есть $i < k$. При поливе дождевальной машиной «Фрегат» за один полив разбрызгивается 60 т/га почвы, а дальнеструйным агрегатом ДДН-70 – 317 т/га

[7], что приводит к появлению на поверхности почвы кольматированного слоя 3 и 12 мм соответственно [8]. Вынос питательных элементов и учет урожая приняты отсутствующими.

Приведенный ниже пример расчетов учитывает только ΣC_k – сумму затрат на прочие работы (в данном случае рыхление от капельной эрозии). Формула (2) имеет вид:

$$\Sigma C_{\text{on-site}} = \Sigma C_k.$$

Согласно, например, Единым нормам и расценкам на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы (Сборник Е18 «Зеленое строительство», §Е18-5) работы по рыхлению почвы включают приведение агрегата в рабочее положение (трактора Т-40 или др. с навесным рыхлителем включая

условную стоимость (0 руб.) по доставке оборудования непосредственно на участок проведения работ) и непосредственное рыхление почвы мотофрезой на заданную глубину (принята условная стоимость 1000 руб./га). Для расчетов принята глубина рыхления до 100 мм (в соответствии с величиной почвенной корки), площадь рыхления равна площади полива: для дождевальной машины «Фрегат» – 52,4 га, ДДН-70 – 52,8 га. В расчетах не включен фонд оплаты труда рабочих. Число поливов условно принято 4 шт. за сезон. В таблице приведены ориентировочные расчеты стоимости затрат (в текущих ценах) на рыхление в связи с разбрызгиванием и уплотнением почвы от искусственного дождевания.

Стоимость затрат на рыхление почвы $\Sigma C_{\text{on-site}}$ (ΣC_k), руб.

Состав работ	Стоимость работ за полив, руб.		Число поливов, шт.	Стоимость работ за сезон, руб.	
	Дождевальная машина «Фрегат»	Дальнеструйный агрегат ДДН-70		Дождевальная машина «Фрегат»	Дальнеструйный агрегат ДДН-70
Приведение в рабочее положение	1000	1000	4	4000	4000
Рыхление почвы мотофрезой	52400	52800		209600	211200
Итого:	53400	53800	4	213600	215200

Необходимо отметить, что полный анализ всех элементов эколого-экономического ущерба, входящих в формулы (1)–(3), требует сбор данных по наличию в почве питательных элементов на начало и конец вегетационного сезона (НРК), объективный учет урожая, а также оценка величины эрозии (поверхностной и капельной). Последняя может быть определена инструментально или расчетным способом.

Как видно из приведенного расчета и формул (1)–(3), оценка эколого-экономического ущерба от ирригационной эрозии вполне может являться элементом оценки технического уровня мелиоративных систем. Потенциально возможный урожай зависит от технического уровня системы, выноса питательных элементов как самими растениями, так и в результате эрозии, обеспечение проведения агротехнических приемов (современное ирригацион-

ное оборудование, рыхление или его отсутствие и др.).

Кроме того, как отмечено выше, агрогеосистема не является полностью замкнутой и ее эксплуатация влечет за собой тот или иной эколого-экономический ущерб. Действительно сельскохозяйственное производство оказывает существенное влияние на загрязнение внешних, по отношению к орошаемому участку, природных объектов. По данным Л.В. Литвина и З.П. Кирюхина [9] построены круговые диаграммы эрозионных потерь почвы и вынос различных питательных веществ с пахотных земель Европейской части Российской Федерации. Из диаграмм видно, что на лесную, южнотаежную, лесостепную и степную зоны приходится примерно равная доля (22...26 %) массы смытой эрозией почвы. Меньше всего смыто почв в северо- и среднетаежной зоне (в этой зоне сосредоточено меньше всего пахотных земель).

Рис. 2. Эрозионные потери почвы и вынос различных питательных веществ с пахотных земель Европейской части Российской Федерации): а – масса смытой почвы, тыс. т; б, в, г – удельное количество соответственно смытых азота, фосфора, калия, кг/га

По оценкам Российской академии наук в России ежегодно на 0,5 млн га увеличивается площадь земель, подверженных эрозии. Ущерб при этом может достигать 18...25 млрд руб. в год [10], а валовой недобор сельскохозяйственной продукции составляет около 13,2 млн тонн. По данным ООН в мире ежегодно потери почвы в результате эрозии в среднем составляют 25...40 млрд тонн, что соответствует примерно 12 млн га. Ежегодные потери урожая в зерновом эквиваленте по состоянию на 2015 год в мире составили 7,6 млн тонн, а к 2050 году потеря урожая в

зерновом эквиваленте может составить 253 млн тонн [11].

Закключение

В результате расчетов было показано, что оценка эколого-экономического ущерба от ирригационной эрозии может являться элементом оценки технического уровня гидромелиоративных систем. Такая оценка нужна прежде всего при проектировании мероприятий по техническому перевооружению и реконструкции, а также для сценарных расчетов эксплуатационных режимов при проектировании новых гидромелиоративных систем.

Дальнейшая работа авторов по данному вопросу будет включать построение логической блок-схемы расчета эколого-экономического ущерба и моделирование эколого-экономического ущерба при оценке технического уровня дождевальных систем.

Библиографический список

1. Итоги реализации (2014-2017 годы) федеральной целевой программы «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014-2020 годы»: информ. Издание / Горнов Г.С., Кочеткова Л.П., Ольгаренко Г.В. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. 108 с.
2. Bennet, H.H. Facing erosion problem // Science. 1935. Vol. 81. P. 321-326.
3. Lal R. Managing soils for feeding a global population of 10 billion // Journal of the Science of Food and agriculture. 2006. Vol. 86. P. 2273-2284.
4. T.S. Telles, S.C.F. Dechen, L.G.A. de Souza, M. de Fatima Guimaraes. Valuation and assessment of soil erosion costs // Scientia Agricola. 2012. Vol. 70(3). P. 209-216. DOI: 10.1590/S0103-90162013000300010.
5. Щедрин В.Н., Колганов А.В., Чураев А.А. Подходы к определению технического уровня мелиоративных систем и обоснование поколений их развития // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2012. №3(07). С. 28-51.
6. Природообустройство / под ред. А.И. Голованова; учебник. М.: КолосС, 2008. 552 с.
7. Рязанцев, А.И. Оптимизация широкозахватных дождевальных машин кругового действия для сложных почвенно-рельефных условий: монография / А.И. Рязанцев, А.О. Гаврилица. – Кишинев: Штиинца, 1991. – 208 с.
8. Гаврилица, А.О. Эрозионные процессы при поливе дождеванием и пути их минимизации / А.О. Гаврилица // Почвоведение. 1993. № 1. С. 77-84
9. Литвин Л.Ф., Кирюхин З.П. Почвенно-эрозионная миграция биогенов и загрязнение поверхностных вод // Эрозия и русловые процессы. 2003. №14. С. 45-63.
10. Деградация на миллиарды // Агроинвестор. 2015. [Электронный ресурс]. URL: <http://old.mcx.ru/news/show/45159> (Дата обращения 10.03.2019).

11. Soils are endangered, but the degradation can be rolled back [Электронный ресурс]. URL: <http://fao.org/news/story/en/item/357227/icode> (Дата обращения 10.03.2019).

References in roman script

1. Itogi realizacii (2014-2017 gody) federalnoj celevoj programmy «Razvitie melioracii zemel selskohozyajstvennogo naznacheniya Rossii na 2014-2020 gody»: inform. Izdanie / Gornov G.S., Kochetkova L.P., Olgarenko G.V. M.: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2018. 108 s.
2. Bennet, H.H. Facing erosion problem // Science. 1935. Vol. 81. P. 321-326.
3. Lal R. Managing soils for feeding a global population of 10 billion // Journal of the Science of Food and agriculture. 2006. Vol. 86. P. 2273-2284.
4. T.S. Telles, S.C.F. Dechen, L.G.A. de Souza, M. de Fatima Guimaraes. Valuation and assessment of soil erosion costs // Scientia Agricola. 2012. Vol. 70(3). P. 209-216. DOI: 10.1590/S0103-90162013000300010.
5. SHCHedrin V.N., Kolganov A.V., CHu-raev A.A. Podhody k opredeleniyu tekhnicheskogo urovnya meliorativnykh sistem i obosnovanie pokolenij ih razvitiya // Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioracii. 2012. №3(07). С. 28-51.
6. Prirodoobustrojstvo / pod red. A.I. Golovanova; uchebnik. M.: KolosS, 2008. 552 s.
7. Ryazancev, A.I. Optimizaciya shirokozahvatnykh dozhdevalnykh mashin krugovogo dejstviya dlya slozhnykh pochvenno-relefnnykh uslovij: monografiya / A.I. Ryazancev, A.O. Gavrilyca. – Ki-shinev: SHtiinca, 1991. – 208 s.
8. Gavrilyca, A.O. Erozionnye processy pri polive dozhdevaniem i puti ih minimizacii / A.O. Gavrilyca // Pochvovedenie. 1993. № 1. S. 77-84
9. Litvin L.F., Kiryuhin Z.P. Pochvenno-erozionnaya migraciya biogenov i zagryaznenie poverhnostnykh vod // Eroziya i ruslovyje processy. 2003. №14. S. 45-63.
10. Degradaciya na milliardy // Ag-roinvestor. 2015. [Elektronnyj resurs]. URL: <http://old.mcx.ru/news/show/45159> (Data obrashcheniya 10.03.2019).
11. Soils are endangered, but the degradation can be rolled back [Elektronnyj resurs]. URL: <http://fao.org/news/story/en/item/357227/icode> (Data obrashcheniya 10.03.2019).

Дополнительная информация

Сведения об авторах:

Брыль Сергей Валерьевич, кандидат технических наук; заведующий кафедрой, Коломенский институт (филиал) Московского политеха; ул. Октябрьской Революции, 408, Коломна, Россия, 140402; e-mail: animag100@mail.ru.

Зверьков Михаил Сергеевич, кандидат технических наук; старший научный сотрудник; Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научноисследовательский институт «Радуга»; пос. Радужный, д. 38, Коломенский городской округ, Московская обл., Россия, 140483; e-mail: mzverkov@bk.ru.

В этой статье под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 International License, которая разрешает копирование, распространение, воспроизведение, исполнение и переработку материалов статей на любом носителе или формате при условии указания автора(ов) произведения, защищенного лицензией Creative Commons, и указанием, если в оригинальный материал были внесены изменения. Изображения или другие материалы третьих лиц в этой статье включены в лицензию Creative Commons, если иные условия не распространяются на указанный материал. Если материал не включен в лицензию Creative Commons, и Ваше предполагаемое использование не разрешено законодательством Вашей страны или превышает разрешенное использование, Вам необходимо получить разрешение непосредственно от владельца(ев) авторских прав.

Для цитирования: Брыль С.В., Зверьков М.С. Экономические риски последствий эрозии как элемент оценки технического уровня гидромелиоративных систем // Экология и строительство. 2019. № 2. С. 43–49. doi: [10.35688/2413-8452-2019-02-006](https://doi.org/10.35688/2413-8452-2019-02-006).

Additional Information

Information about the authors:

Bryl Sergei Valerevich, candidate of technical sciences; head of department; Kolomna Institute (branch) of Moscow Polytechnic University; Oktyabrskoj Revolyucii st., 408, Kolomna, Moscow region, Russia, 140402; e-mail: animag100@mail.ru.

Zverkov Mikhail Sergeevich, candidate of technical sciences; senior researcher; Federal state budgetary scientific institution «AllRussian scientific research Institute «Raduga»; Raduzhnyj, 38, Kolomna, Moscow region, Russia, 140483; e-mail: mzverkov@bk.ru.

This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder.

For citations: Bryl S.V., Zverkov M.S. Economic risks of erosion effects as an part of assessment of the technical level of hydromeliorative systems // Ekologiya i stroitelstvo. 2019. № 2. P. 43–49. doi: [10.35688/2413-8452-2019-02-006](https://doi.org/10.35688/2413-8452-2019-02-006).