

**ЭКОЛОГО-ГИДРОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ОСУШЕННЫХ ПОЧВ  
АГРОЛАНДШАФТА САМБИЙСКОЙ РАВНИНЫ**

О. А. Анциферова, Д. Н. Сафонова

*ФГОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»**236022, г. Калининград, Советский пр., 1**E-mail: anciferova@inbox.ru**Поступила в редакцию 22 ноября 2021 г., принята к печати 24 февраля 2022 г.*

Исследование проведено в 2017–2020 гг. в агроландшафте холмисто-моренной равнины (западная часть Калининградской области). Определены пористость аэрации и окислительно-восстановительный потенциал пахотного горизонта осушенных почв на различных элементах рельефа осенью (в начальные фазы роста озимых культур) и весной (при возобновлении вегетации озимых и посеве яровых культур). Буроземы глееватые на вершинах холмов характеризуются благоприятной окислительно-восстановительной обстановкой и оптимальными условиями аэрации в пахотном слое. Биологическая урожайность на автономных позициях рельефа в среднем за четыре года исследований составила 5,64 т га<sup>-1</sup> в зерновых единицах. На осушенных глееватых буроземах склоновых позиций вследствие эрозионных потерь питательных элементов и влияния верховодок произошло снижение урожайности культур от 6% в годы с благоприятными условиями увлажнения до 34% в годы с экстремально сырыми погодными условиями (в среднем на 15,4% за 2017–2020 гг.). Глеевые почвы открытых понижений характеризуются слабо восстановительными условиями и недостаточной аэрацией в пахотном слое в период начала вегетации сельскохозяйственных культур. Уровень урожайности выращиваемых на них культур был наиболее нестабильным и зависел от варьирования количества осадков осенью. В среднем за ротацию севооборота снижение продуктивности составило 24,7% по сравнению с буроземами на вершинах холмов. Замкнутые понижения являются очагами систематической гибели сельскохозяйственных культур на стадии проростков вследствие неблагоприятных эколого-мелиоративных условий в пахотном горизонте (восстановительная среда, пористость аэрации ниже 10%, периодическое затопление). Валовая продуктивность поля зависит от геоморфологических условий, доли почв разной степени гидроморфизма в составе почвенного покрова и мелиоративного состояния осушенных почв. Полученные результаты позволяют осуществлять прогноз потерь урожая от переувлажнения в условиях контрастного почвенного покрова и неоднородного рельефа.

**Ключевые слова:** пористость аэрации, окислительно-восстановительный потенциал, осушенные почвы, пестрота почвенного покрова, урожай.

**ECOLOGICAL AND HYDROLOGICAL STATE AND PRODUCTIVITY OF DRAINED SOILS IN THE  
AGRICULTURAL LANDSCAPE OF THE SAMBIAN PLAIN**

O. A. Antsiferova, D. N. Safonova

*Kaliningrad State Technical University, 1, Sovetskiy pr., Kaliningrad, 236022*

The study was conducted in 2017–2020 in the agrolandscape of the hilly-morainic plain (western part of the Kaliningrad region). The porosity of aeration and the redox potential of the arable horizon of the drained soils were determined on various relief elements in autumn (during the initial phases of growth of winter crops) and in spring (during the resumption of winter crops vegetation and the sowing of spring crops). Gleyic Cambisols (Aric, Loamic, Drainic) on hilltops are characterized by a favorable redox environment and optimal aeration conditions in the arable layer. The biological yield on autonomous relief positions was 5.64 t ha<sup>-1</sup> in grain units on average over four years of the research. A decrease in crop yields by 6% in years with favorable weather conditions and up to 34% in years with extremely wet weather conditions (by 15.4% on average for 2017–2020) was noted on the Gleyic Cambisols due to erosive losses of nutrients and the influence of perched waters. Gleysols (Aric, Siltic, Drainic) of open depressions are characterized by a slightly unfavorable redox environment and insufficient aeration in the arable layer during the beginning of the growing season of agricultural crops. The yield level of crops grown on these soils was most unstable and depended on the variation in the amount of precipitation in autumn. The decrease in productivity was on average 24.7% per crop rotation compared to Cambisols on hilltops. Closed depressions are centers of systematic death of agricultural crops at the seedling stage due to unfavorable environmental and reclamation conditions in the arable horizon (recovery environment, aeration porosity below 10%, periodic flooding). The gross productivity of the field depends on the geomorphological conditions, the proportion of soils of varying hydromorphism degrees in the composition of the soil cover, and the reclamation state of the drained soils. The obtained results can be used to predict crop losses due to waterlogging under conditions of contrasting soil cover and heterogeneous relief.

**Key words:** air porosity, red-ox potential, drained soils, soil diversity, yield.

## ВВЕДЕНИЕ

Исследования гидрологии почв в агроландшафтах в настоящее время особенно актуальны в связи с глобальными изменениями климата (Национальный доклад, 2018; Шейн и др., 2021; Mihailović et al., 2016; Bogena et al., 2018). Наметившаяся тенденция к увеличению количества осадков на северо-востоке Европы обусловила переувлажнение почв (Переувлажнение и подтопление, 2018; Gobin et al., 2017). В связи с этим особое внимание необходимо уделять мониторингу гидрологического режима и дренажных систем на мелиорированных сельскохозяйственных угодьях (Усков и др., 2020). В Нечернозёмной зоне России сосредоточено более 80% фонда осушаемых земель, улучшение состояния которых позволит существенно повысить урожайность сельскохозяйственных культур и реализовать биоклиматический потенциал агроландшафтов (Усков, Янко, 2016; Иванов и др., 2016, 2019).

История осушительной мелиорации на территории Калининградской области насчитывает более трех столетий (Церлинг, 1959). Уже к концу XX в. осушалось более 800 тыс. га земель (Борматенков, Валуцкий, Вегеле, 1982), а в настоящее время мелиорация является основой успешного земледелия. Область отнесена к регионам с перспективным развитием мелиорации на староосушенных угодьях (Щедрин, 2018). В настоящее время дренажная сеть охватывает 594,5 тыс. га сельскохозяйственных земель. Из них неудовлетворительным мелиоративным состоянием характеризуются 25,7–30,0% (в зависимости от увлажненности в течение года). В годы с экстремально сырыми погодными условиями (например, 2017 г.) доля неблагоприятных почв увеличивается до 38,5% (Показатели по оценке и учету, 2019). Поэтому изучение мелиоративного состояния пахотных почв в Калининградской области в условиях изменяющегося климата является весьма актуальной задачей. Однако научных исследований по данному направлению практически нет. Отдельные публикации касаются технических особенностей польдерных систем на торфяно-болотных почвах (Кащенко, Пунтусов, Ковалев, 2021), в то время как основные массивы сельскохозяйственных угодий сосредоточены на моренных равнинах с волнистым и холмистым рельефом, в почвенном покрове которых преобладают оглеенные дерново-подзолистые почвы и частично буроземы (в западной части области) (Географический атлас, 2002; Панасин и др., 2020).

Целью исследования являлась эколого-гидрологическая оценка состояния осушенных пахотных почв в условиях неоднородного рельефа поля.

## ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследований выбрано типичное поле в пределах Самбийской холмисто-моренной равнины (Зеленоградский городской округ). Поле находится в 1 км к северу от пос. Холмогоровка, землепользование ООО «Молочная фабрика», подразделение растениеводства. Площадь изученного

участка составляла 100 га. Почвенный покров сложный и контрастный, представляющий собой чередование сочетаний-мозаик. Ведущая роль в дифференциации почвенного покрова принадлежит мезорельефу. Неоднородность почвообразующих пород приводит к формированию микромозаик. Такие условия являются характерной чертой ландшафтов Самбийской равнины (Анциферова, 2008). На вершинах холмов и склонах на поле расположены в основном глееватые буроземы супесчаного и легкосуглинистого состава. Они сформировались на выщелоченных моренных валунных супесях и суглинках. В понижениях располагаются дерново-глеевые среднесуглинистые почвы, для которых почвообразующими породами послужили многочленные карбонатные отложения (супеси, суглинки и глины ледникового и водно-ледникового генезиса). Причинами оглеения почв на автономных позициях рельефа являются высокая плотность, низкая пористость аэрации иллювиальных горизонтов и почвообразующих пород, а также сезонный застой влаги над заиленными слоями или глинистыми линзами (Antsiferova, 2019). Все оглеенные почвы осушаются при помощи системы закрытого гончарного дренажа со сбросом вод в открытый канал. Последняя реконструкция дренажных сетей проведена в 1975 г. Глубина заложения закрытых осушителей в буроземах составляет 90–110 см, в дерново-глеевых почвах – 40–80 см.

Из агрохимических свойств наибольшей пространственной вариабельностью характеризовалось содержание гумуса. В буроземах на вершинах холмов оно составляло 1,9–2,4%, на склонах – 2,0–2,5%, а в дерново-глеевых почвах понижений – 4,0–8,5%. При этом в западинах с наиболее длительным поверхностным застоём воды (с начала ноября по май – начало июня) содержание гумуса в слое 0–20 см было значительно ниже (4–5%) по сравнению с дерново-глеевыми почвами, период затопления которых начинается с конца ноября и заканчивается в конце марта – середине апреля.

Все изученные почвы в период исследований характеризовались кислой реакцией среды: в среднем величина  $pH_{KCl}$  составляла 4,6 в пахотном горизонте буроземов и 4,8 в дерново-глеевых почвах. Кислая реакция среды обусловлена прекращением известкования.

Буроземы характеризовались повышенным содержанием подвижного фосфора (усредненные значения составляли 115 мг  $kg^{-1}$  на вершинах холмов и 137 мг  $kg^{-1}$  на склонах) и высокой обеспеченностью подвижным калием (165 и 167 мг  $kg^{-1}$  соответственно). В дерново-глеевых почвах понижений вследствие аккумуляции геохимических потоков содержание фосфора (226 мг  $kg^{-1}$ ) и калия (182 мг  $kg^{-1}$ ) было более высоким по сравнению с буроземами.

Калининградская область обладает более высоким биоклиматическим потенциалом по сравнению с другими регионами Северо-Запада России. Сумма температур воздуха за период с температурой выше  $+10^{\circ}C$  составляет 2200–2300 $^{\circ}C$ . Для суглинистых разновидностей почв сумма

активных температур в среднем равна 2500°C, для супесчаных – 2600°C. Коэффициент увлажнения составляет около 1,3, что характеризует климат области как гумидный.

Период исследований охватывал четыре года (2017–2020 гг.), различающихся по количеству выпавших осадков (табл. 1). По сравнению со среднегодовыми значениями (Барина, 2002; Географический атлас, 2002), температура воздуха в последнее десятилетие, в том числе в годы

исследований, была более высокой. Резкие колебания годовой суммы осадков во многом были связаны с различиями по осенним месяцам. За основной период роста и созревания (апрель – август) изученных озимых и яровых культур (озимой пшеницы, озимого рапса, ярового ячменя) различия по осадкам были не столь значительными. Особенности технологии возделывания сельскохозяйственных культур на поле представлены в табл. 2.

Таблица 1. Температура и осадки за период исследований (обработка данных с метеостанции г. Калининград)

Показатель	Климатические показатели по годам					
	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	за период 2010–2020 гг.	средне-многолетние значения
Среднегодовая температура, °С	+8,6	+9,0	+9,7	+9,8	+8,7	+8,0
Осадки за год, мм	1090	617	778	751	814	781
Осадки за период апрель – август, мм	322	275	270	320	339	331

Таблица 2. Особенности технологии выращивания сельскохозяйственных культур на поле

Элементы технологии	Год и культура			
	2017 г. оз. пшеница	2018 г. оз. рапс	2019 г. оз. пшеница	2020 г. яр. ячмень
Сорт / Гибрид	Скипетр	Висби	Скаген	Осколец
Норма высева, млн. семян га <sup>-1</sup>	4,0	0,6	4,0	5,0
Предпосевное удобрение, кг га <sup>-1</sup> д.в.	N <sub>24</sub> P <sub>45</sub> K <sub>90</sub>	N <sub>20</sub> P <sub>52</sub> K <sub>52</sub>	N <sub>24</sub> P <sub>45</sub> K <sub>90</sub>	N <sub>92</sub>
Минеральные подкормки, кг га <sup>-1</sup> д.в.	1. N <sub>70</sub> 2. N <sub>26</sub> Mg <sub>5</sub> S <sub>44</sub> 3. N <sub>52</sub>	1. N <sub>52</sub> 2. N <sub>29</sub> Mg <sub>6</sub> S <sub>49</sub> 3. N <sub>52</sub>	1. N <sub>70</sub> 2. N <sub>26</sub> Mg <sub>5</sub> S <sub>44</sub> 3. N <sub>52</sub> 4. N <sub>28</sub>	N <sub>34</sub>
Кол-во пестицидных обработок	5	5	5	2
Уборка	1-я декада августа	2-я декада июля	1-я декада августа	2-я декада августа

Мониторинг влажности, воздухоносной пористости, окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) и урожайности сельскохозяйственных культур проводился на четырех группах почв, расположенных на различных элементах рельефа: буроземах среднеглееватых на вершинах холмов и сильноглееватых на склонах, а также на дерново-глеевых почвах в открытых и замкнутых понижениях. Всего на поле было заложено 16 площадок для мониторинга (по четыре на каждом из элементов рельефа).

Пористость аэрации рассчитывалась как разница между общей пористостью и объемной полевой влажностью (Вадюнина, 1986; Зайдельман, 2008). Окислительно-восстановительный потенциал измерялся с помощью платинового электрода (Кауричев, Орлов, 1982). Анализы выполнены в 4-кратной повторности. Диагностика интенсивности оглеения почв проводилась по системе Ф. Р. Зайдельмана (Зайдельман, 2008).

Продуктивность сельскохозяйственных культур определялась на площадках 1 м<sup>2</sup> в 4-кратной

повторности на каждом почвенном ареале. В камеральных условиях изучались биометрические показатели структуры урожая и определялась масса зерна (в пересчете на стандартную влажность). Статистическая и графическая обработка массива данных выполнена в программе Microsoft Excel. Во всех таблицах приведены средние значения ± ошибка среднего арифметического.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Управление мелиоративным состоянием осушенных почв осуществляется путем регулирования водного и воздушного режимов. Важнейшим показателем является уровень аэрации корнеобитаемого слоя. Он определяется по величине воздухоносной пористости. Рекомендуемое содержание воздуха в пахотном горизонте: для трав – 15–20%, для корнеплодов и картофеля – 30–40%, для зерновых – 20–30% (Гуляев, 1990). Критическим значением воздухоносной пористости является 10% (Шейн, 2005). Снижение степени аэрации пахотного горизонта до критических значений происходит в результате переувлажнения, что приводит к созданию

анаэробных восстановительных условий. настоящего исследования уровень аэрации сельскохозйственные растения особенно определялся осенью (в начальные фазы роста озимых чувствительны к переувлажнению и недостаточной культур) и весной (при возобновлении вегетации аэрации на ранних этапах развития. Поэтому в рамках озимых и посева яровых культур) (табл. 3).

Таблица 3. Средние значения пористости аэрации (%) в пахотном горизонте (0–20 см) почв в начальные фазы роста сельскохозяйственных культур

Год, культура	Часть месяца	Буроземы глееватые		Дерново-глеевые почвы	
		вершины холмов	склоны холмов	открытые понижения	замкнутые понижения
2016 г. озимая пшеница всходы – кущение	1	27 ± 3	27 ± 1	15 ± 1	10 ± 2
	2	23 ± 2	23 ± 2	9 ± 1	5 ± 1
2017 г. озимая пшеница кущение	1	24 ± 3	23 ± 2	10 ± 2	затопление
	2	20 ± 2	19 ± 2	11 ± 1	затопление
2017 г. озимый рапс всходы – кущение	1	22 ± 2	20 ± 2	15 ± 2	10 ± 2
	2	18 ± 2	18 ± 3	10 ± 1	0 ± 0
	1	18 ± 2	18 ± 2	9 ± 1	затопление
	2	16 ± 2	17 ± 2	5 ± 1	затопление
2018 г. озимый рапс кущение	1	25 ± 1	23 ± 2	9 ± 1	2 ± 2
	2	33 ± 1	32 ± 1	14 ± 1	7 ± 3
2018 г. озимая пшеница всходы – кущение	1	28 ± 1	27 ± 1	22 ± 2	20 ± 2
	2	26 ± 2	26 ± 2	18 ± 2	16 ± 2
2019 г. озимая пшеница кущение	1	25 ± 2	25 ± 3	18 ± 1	8 ± 1
	2	28 ± 1	26 ± 1	22 ± 1	13 ± 1
2020 г. яровой ячмень всходы	1	24 ± 2	27 ± 3	19 ± 2	7 ± 1

В пахотном горизонте глееватых буроземов на вершинах и склонах холмов в большинстве случаев пористость аэрации являлась оптимальной. Только во второй половине сентября и октябре 2017 г. произошло снижение степени аэрации в связи с экстремально сырыми погодными условиями. Воздухоносная пористость пахотного горизонта дерново-глеевых почв существенно зависит от наличия или отсутствия естественного стока. В открытых понижениях уровень аэрации является нестабильным. При малом количестве осадков осенью воздухоносная пористость указанных почв близка к оптимальным для зерновых культур значениям. В сырых погодных условиях происходит снижение ВП до критических значений. В весенний период в дерново-глеевых почвах аэрация пахотного слоя продолжает оставаться низкой из-за переувлажнения и более медленного просыхания по сравнению с буроземами на вершинах холмов и склонах.

Воздухоносная пористость дерново-глеевых почв замкнутых понижений в фазы начала кущения и возобновления вегетации озимых культур ниже или равна критическим значениям. Аккумуляция влаги осадков, дополнительное натечное увлажнение склоновыми водами и подток грунтовых вод являются

причинами длительного переувлажнения почв в замкнутых понижениях.

При преобладании на поле оглеенных почв важно контролировать окислительно-восстановительные условия в пахотном горизонте. В результате исследований обнаружено закономерное снижение ОВП от среднеглееватых буроземов на вершинах холмов к дерново-глеевым почвам в замкнутых понижениях (табл. 4). Полученные значения ОВП оценивались по шкалам, предложенным И. С. Кауричевым и И. И. Кармановым (Кирюшин, 1996). Благоприятная обстановка сложилась весной в пахотном слое глееватых буроземов, где значения ОВП не опускались ниже 450 мВ (за исключением второй половины октября 2017 г. на фоне выпадения более 200 мм осадков за месяц). Для дерново-глеевых почв открытых межхолмных понижений характерны слабо восстановительные условия. В замкнутых депрессиях рельефа в весенний период складывается весьма неблагоприятная обстановка, характеризующаяся снижением ОВП до умеренно- и сильно восстановительных условий с развитием морфологических признаков оглеения в гумусовом горизонте.

Таблица 4. Средние значения окислительно-восстановительного потенциала (мВ) в пахотном горизонте (0–20 см) почв в начальные фазы роста сельскохозяйственных культур

Год, культура	Часть месяца	T, °C* Осадки (мм)	Буроземы		Дерново-глеевые почвы	
			вершины холмов	склоны холмов	открытые понижения	замкнутые понижения
2016 г. оз. пшеница всходы – кущение	октябрь					
	1	$\frac{+7,4}{35}$	536 ± 42	511 ± 39	402 ± 31	346 ± 32
	2	$\frac{+5,7}{55}$	522 ± 31	462 ± 28	378 ± 37	311 ± 34
2017 г. оз. пшеница кущение	апрель					
	1	$\frac{+5,7}{29}$	512 ± 44	481 ± 41	334 ± 42	223 ± 35
	2	$\frac{+4,8}{38}$	530 ± 28	501 ± 38	362 ± 45	195 ± 43
2017 г. оз. рапс всходы – кущение	октябрь					
	1	$\frac{+10,3}{113}$	493 ± 46	443 ± 34	362 ± 22	323 ± 28
	2	$\frac{+8,6}{103}$	431 ± 38	388 ± 36	306 ± 24	252 ± 19
2018 г. оз. рапс кущение	апрель					
	1	$\frac{+9,8}{18}$	522 ± 41	487 ± 38	316 ± 29	229 ± 45
	2	$\frac{+11,9}{26}$	574 ± 32	536 ± 40	322 ± 38	186 ± 37
2020 г. яр. ячмень.	апрель					
	1	$\frac{+7,6}{8,6}$	557 ± 41	546 ± 38	453 ± 34	216 ± 69

**Примечание:** \* – средняя температура за определенную часть месяца.

В период исследований на поле выращивались преимущественно озимые культуры по интенсивным технологиям (табл. 2). Однако несмотря на усиленное минеральное питание, решающее влияние на продуктивность культур оказали различия в условиях аэрации и окислительно-восстановительная обстановка. Основные потери всхожих семян озимой пшеницы произошли осенью 2016 г. и весной 2017 г. на дерново-глеевых почвах. Это повлекло за собой общее уменьшение количества продуктивных стеблей (табл. 5) и снижение урожайности зерна в понижениях по сравнению с буроземами на вершинах и склонах (рис. 1). Осенью 2018 г. засушливая погода способствовала созданию оптимальных условий аэрации в пахотном горизонте дерново-глеевых почв. Однако в весенний период переувлажнение в замкнутых депрессиях привело к гибели части всходов и резкому снижению урожайности культуры. В то же время в открытых понижениях на фоне интенсивного

минерального питания в полной мере реализовался высокий потенциал дерново-глеевых почв.

Аналогичные закономерности проявились при выращивании озимого рапса и ярового ячменя (рис. 2). В экстремально сырых погодных условиях осени 2017 г. (табл. 4) переувлажнение затронуло все почвы на поле. В результате ухудшилась аэрация в буроземах. Максимальные потери произошли на стадии всходов рапса на дерново-глеевых почвах. Количество продуктивных стеблей рапса достоверно снижалось в зависимости от элемента рельефа (табл. 5). В замкнутых депрессиях произошла полная гибель всходов вследствие затопления. Урожай маслосемян в открытых понижениях снизился на 47,4% по сравнению с буроземами на вершинах холмов. Однако при благоприятных условиях аэрации в пахотном слое дерново-глеевых почв в апреле 2020 г. реализовался биологический потенциал сорта, и урожай ячменя в открытых понижениях оказался даже выше, чем на вершинах и склонах (рис. 2).

Таблица 5. Количество продуктивных стеблей (шт. м<sup>-2</sup>) на почвах разной степени гидроморфизма

Почвы и рельеф	Год и культура			
	2017 г. озимая пшеница	2018 г. озимый рапс	2019 г. озимая пшеница	2020 г. яровой ячмень
Л <sup>б</sup> л,у Л <sup>бс</sup> л, у Вершины (1)	318,5 ± 27,0	28,0 ± 1,8	415,0 ± 37,8	582,7 ± 34,0
Л <sup>бс</sup> л, у Склоны (2)	313,5 ± 21,5	20,6 ± 3,4	472,9 ± 29,2	581,0 ± 26,3
П <sup>дг</sup> у, Д <sup>г</sup> с Открытые понижения (3)	239,0 ± 53,1	10,0 ± 1,4	484,8 ± 31,7	626,2 ± 35,6
Д <sup>г</sup> с Замкнутые понижения (4)	0	0	89,8 ± 20,2	80,0 ± 38,1

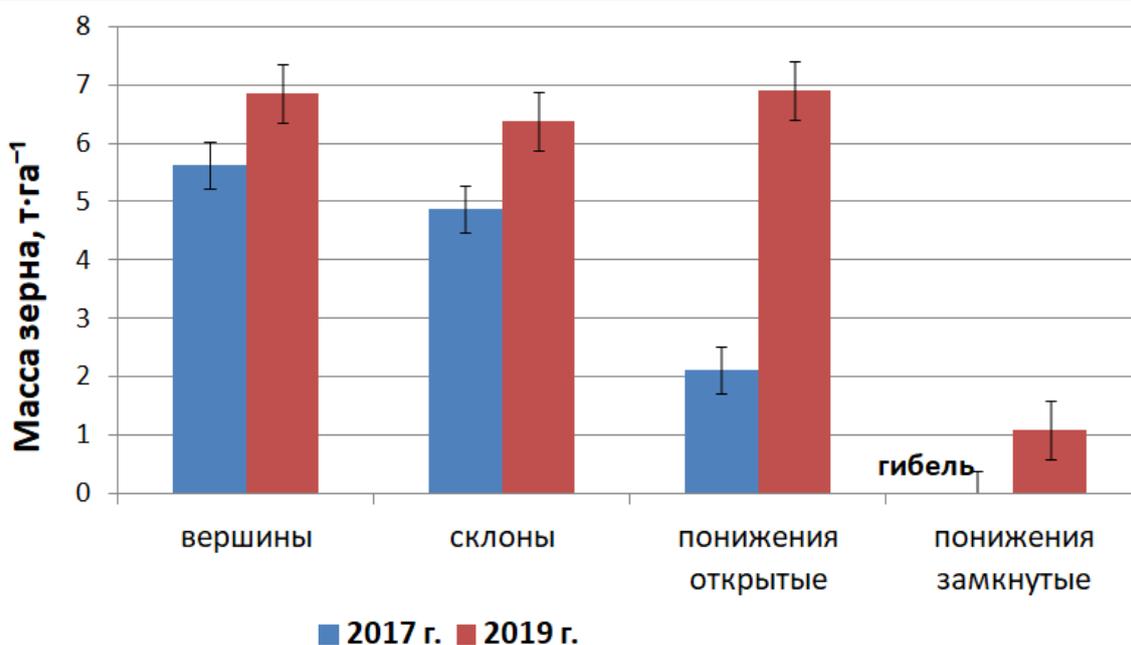


Рис. 1. Биологический урожай зерна озимой пшеницы на различных элементах рельефа

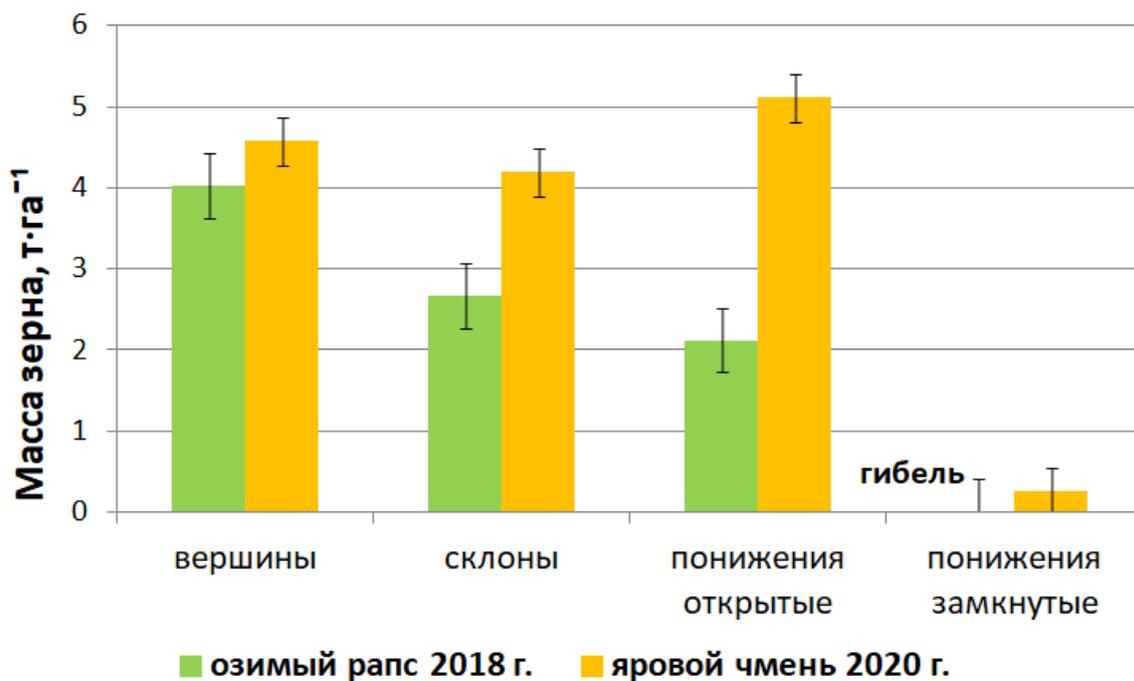


Рис. 2. Биологический урожай зерна озимого рапса и ярового ячменя на различных элементах рельефа

Подсчет средних урожаев в зерновых единицах за четырехлетний период показал, что легкосуглинистые и связно-супесчаные глееватые буроземы на вершинах холмов отличались наилучшей продуктивностью ( $5,64 \text{ т га}^{-1}$ ) в условиях незначительной эрозии, хорошей обеспеченности подвижными формами фосфора и калия и при

содержании в пахотном слое обменного алюминия не более  $1,5 \text{ мг } 100 \text{ г}^{-1}$  (рис. 3). На склоновых глееватых буроземах урожайность была ниже в среднем на 15,4%, а на дерново-глеевых почвах в открытых понижениях – на 24,7%. В замкнутых понижениях с неблагоприятной эколого-мелиоративной обстановкой потери урожая достигали значений выше 90%.



Рис. 3. Биологический урожай в зерновых единицах за ротацию севооборота в зависимости от гидроморфизма почв и элемента рельефа (средние значения за 2017–2020 гг.)

При переходе от уровня почвенных ареалов к уровню почвенного покрова поля необходимо определить долю неблагоприятных почв. Она во многом будет зависеть от конкретных геоморфологических условий на полях: соотношения возвышенных и пониженных участков, истории послеледникового изменения рельефа в результате эрозионных процессов, возникновения просадок различного генезиса. Обычно площадь замкнутых западин составляет доли гектара, однако на участках древних ледниковых водоемов она может достигать 10–15 га. На изученном поле буроземы неоглеенные и глееватые на вершинах холмов составляли около 10% и при этом отличались стабильно наиболее высокими показателями продуктивности. На долю склоновых глееватых буроземов приходилось около 30% от площади поля. Снижение урожая зерна на них составляло от 6% в годы с благоприятными условиями увлажнения до 34% в годы с экстремально сырыми погодными условиями. Основной причиной снижения плодородия являлись эрозионные потери питательных веществ из удобрений на фоне переувлажнения и поднятия верховодок в слой 0–100 см. Глеевые почвы (дерново-подзолистые и дерново-глеевые) в открытых понижениях занимали 35%. При оптимальной аэрации пахотного слоя весной и осенью они характеризовались высокой плодородностью и по показателю урожайности выращиваемых на них культур достигали уровня или даже превосходили (до 2,5%) буроземы повышений. Однако при переувлажнении низкая аэрация и слабо

восстановительные условия в пахотном горизонте приводили к существенным потерям урожая (от 47 до 62%). Поэтому при значительной доле таких почв они во многом определяют уровень валового сбора зерна с поля.

Дерново-глеевые почвы в замкнутых и полузамкнутых западинах были распространены на 25% площади, причем основной ареал составляла крупная депрессия (16 га).

Все оглеенные (глееватые и глеевые) почвы на поле осушены системой закрытого гончарного дренажа. От эффективности его работы зависит режим влажности почв. В настоящее время по причине прекращения обслуживания дренажных сетей около половины стока блокируется из-за засыпки делювиом оголовков коллекторов в откосах открытого канала, засыпки водопоглощающих колодцев, а также механических повреждений дренажа. Поэтому переувлажнению подвергаются в первую очередь почвы понижений, собирающие как внутрпочвенный, так и поверхностный сток. Как было показано выше, дерново-глеевые почвы открытых понижений характеризуются выраженной контрастностью в зависимости от количества осадков осенью и зимой. В замкнутых понижениях, принимающих максимальные объемы влаги при частичной блокировке дренажного стока, наблюдается длительное переувлажнение с начала периода затопления. Этому способствуют также глинистые водоупорные прослойки в подпахотном слое выше уровня заложения дренажных труб.

Согласно шкале мелиоративного состояния, предложенной А. Ю. Перцовичем и О. Л. Ведениным (Зайдельман, 2008, с. 357), состояние поля оценивается как неудовлетворительное. Наиболее значительные площади вымочек отмечены осенью и зимой 2017 г., когда около 30% площади поля оказалось в затопленном состоянии. В 2018 г. на указанных участках озимый рапс полностью погиб, а на периферии затопленных контуров снижение урожайности составило более 50%.

Для улучшения эколого-гидрологического состояния почв открытых и замкнутых понижений рекомендуется провести прочистку системы закрытого дренажа и оголовков коллекторов, выходящих в открытый канал, устранение разрывных нарушений как очагов подпочвенного скопления влаги и восстановление водопоглощающих колодцев. Также необходимо проведение мероприятий по ускорению отвода влаги из пахотного и подпахотного слоев путем раскрытия западин и локального шелевания. Без проведения данных мероприятий использование в севообороте почв замкнутых западин будет нецелесообразным. Полученные результаты исследования могут применяться для прогнозирования потерь урожая при переувлажнении почв в условиях холмисто-моренных агроландшафтов Самбийской равнины.

### ВЫВОДЫ

1. Геоморфологический фактор является причиной дифференциации почв на моренных равнинах по степени увлажнения, что приводит к формированию ряда нарастающего гидроморфизма от вершин холмов к замкнутым понижениям. Контрастность увлажнения почв определяет степень аэрации пахотного горизонта и окислительно-восстановительные условия в нем. В результате состояние посевов на ранних стадиях и урожайность культур в целом существенно различаются.

2. В осенний и весенний периоды на начальных стадиях роста озимых культур и при посеве яровых зерновых наиболее оптимальными условиями аэрации

и благоприятной окислительно-восстановительной обстановкой в пахотном слое характеризуются осушенные глееватые буроземы на вершинах холмов и склонах. Слабо восстановительная обстановка (300–400 мВ) и недостаточный уровень аэрации типичны для дерново-глеевых почв открытых понижений. Наиболее проблемными являются дерново-глеевые почвы в замкнутых западинах, для которых в большинстве случаев характерны величины пористости аэрации ниже критических значений вследствие длительного переувлажнения или затопления. Это сопровождается уменьшением ОБП ниже 300 мВ и развитием оглеения.

3. Наиболее стабильными (при отсутствии выраженной эрозии) по уровню урожайности являются буроземы на вершинах холмов. Однако они занимают до 10% площади поля. Выраженное достоверное снижение урожайности культур на склоновых осушенных буроземах отмечено в годы с экстремально сырыми погодными условиями. Наиболее нестабильным уровнем урожайности характеризовались дерново-глеевые почвы в открытых понижениях. Высокое потенциальное плодородие почв реализуется только при близких к оптимальным условиям аэрации в пахотном слое в осенний и весенний периоды. Длительное переувлажнение и снижение пористости аэрации до 10% приводят к значительным потерям урожая (47–62%). На дерново-глеевых почвах в замкнутых понижениях происходит практически полная гибель урожая или его снижение до производственно незначимого уровня (в условиях сильной засоренности).

4. Мелиоративное состояние поля оценивается как неудовлетворительное вследствие значительной доли (25%) дерново-глеевых почв в замкнутых понижениях. Крупные ареалы таких почв нецелесообразно использовать в севообороте без коренного улучшения их гидрологического режима. В первую очередь необходима оптимизация условий аэрации в открытых понижениях при помощи агро-мелиоративных приемов.

### Список литературы

- Анциферова О. А. Почвы Замландского полуострова и их антропогенное изменение. Ч. 1. Факторы почвообразования. Почвы подзолистого и буроземного рядов. Калининград, 2008. 397 с.
- Барина Г. Н. Калининградская область. Климат. Калининград, 2002. 196 с.
- Борматенков О. А., Валуцкий Е. Н., Вегеле М. К. Научные основы системы земледелия Калининградской области. Калининград, 1982. 253 с.
- Географический атлас Калининградской области / Гл. ред. В. В. Орленок. Калининград: Изд-во КГУ; ЦНИТ, 2002. 276 с.
- Гуляев Г. В. (ред.) Справочник агронома Нечерноземной зоны. М.: Агропромиздат, 1990. 575 с.
- Зайдельман Ф. Р. Мелиорация почв. М.: Изд-во МГУ, 2003. 448 с.
- Зайдельман Ф. Р. Методы эколого-мелиоративных изысканий и исследований почв. М.: КолосС, 2008. 486 с.
- Иванов А. И., Конашенков А. А., Иванова Ж. А., Воробьев В. А., Фесенко М. А., Данилова Т. А., Филиппов П. А. Агротехнические аспекты реализации биоклиматического потенциала Северо-Запада России // Агрофизика. 2016. № 2. С. 35–44.
- Иванов А. И., Янко Ю. Г. Мелиорация как необходимое средство развития сельского хозяйства Нечерноземной зоны России // Агрофизика. 2019. № 1. С. 67–78.
- Кауричев И. С., Орлов Д. С. Окислительно-восстановительные процессы и их роль в генезисе и плодородии почв. М.: Колос, 1982. 247 с.
- Кашенко Н. М., Пунтусов В. Г., Ковалев В. П. Расчет параметров реконструируемых польдерных систем сельскохозяйственного назначения // Мелиорация и водное хозяйство. 2021. № 4. С. 26–30.

- Кирюшин В. И. Экологические основы земледелия. М.: Колос, 1996. 367 с.
- Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: оценка рисков и эколого-экономических последствий деградации земель. Адаптивные системы и технологии рационального природопользования (сельское и лесное хозяйство)» / Под ред. А. И. Бедрицкого. М.: Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева, ГЕОС, 2018. 286 с.
- Панасин В. И., Депутатов К. В., Вихман М. И. Почвы Калининградской области и их агрохимические свойства. Калининград: Изд-во БФУ им. Канта, 2020. 240 с.
- Переувлажнение и подтопление земель в регионах России / Под ред. В. В. Разумова. М.: Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева, 2018. 279 с.
- Показатели по оценке и учету мелиоративного состояния осушенных сельскохозяйственных угодий и технического состояния осушительных систем. ФГБУ «Управление «Калининградмелиоводхоз». [2019] [электронный ресурс] URL: <http://mcsx-dm.ru/fgbu/86?report=osvalues&cur=94011> (дата обращения 20.06.2020)
- Усков И. Б., Янко Ю. Г. Физико-агрономические основы научного обеспечения комплексных мелиораций земель // Агрофизика. 2016. № 4. С. 58–64.
- Усков И. Б., Моисеев К. Г., Николаев М. В., Кононенко О. В., Усков А. О. Анализ системы «осадки – почва – дренаж» в условиях изменения климата на Северо-Западе России // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2020. № 4. С. 205–226.
- Церлинг В. В. Из истории опытного дела на территории Калининградской области // Агрохимические работы в Калининградской области. М.: Изд-во АН СССР, 1959. С. 7–39.
- Шейн Е. В. Курс физики почв. М.: Изд-во МГУ, 2005. 432 с.
- Шейн Е. В., Болотов А. Г., Дембовецкий А. В. Гидрология почв агроландшафтов: количественное описание, методы исследования, обеспеченность почвенных запасов влаги // Почвоведение. 2021. № 9. Т. 55. С. 1076–1084.
- Щедрин В. Н. Мелиорация в России: проблемы и перспективы // Мелиорация и водное хозяйство. 2018. Спецвыпуск, июнь. С. 30–36.
- Antsiferova O. A. Monitoring-based investigation of Cambisols moisture regimes for areas in autonomous relief positions. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, vol. 368 (in press). DOI: 10.1088/1755-1315/368/1/012004
- Bogena H. R., White T., Bour O., Li X., Jensen K. H. Toward better understanding of terrestrial processes through long-term hydrological observatories // Vadose Zone Journal (in press), 2018. DOI 10.2136/vzj2018.10.0194
- Gobin A., Kersebaum K. C., Eitzinger J., Trnka M. Variability in the Water Footprint of Arable Crop Production across European Regions // Water Journal, 2017 (in press). DOI: 10.3390/w9020093
- Mihailović D. T., Drešković N., Arsenić I., Ćirić V. Impact of climate change on soil thermal and moisture regimes in Serbia: An analysis with data from regional climate simulations under SRES-A1B // Science Total Environment (in press), 2016. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.06.142

#### References

- Antsiferova O. A. *Pochvy Zamlandskogo poluostrova i ikh antropogennoye izmeneniye. Ch. 1. Faktory pochvoobrazovaniya. Pochvy podzolistogo i burozemnogo ryadov* [Soils of the Samland peninsula and their anthropogenic change. Part 1. Factors of soil formation. Soils of Podzol and Cambisols series]. Kaliningrad: Kaliningrad Technical University Publishing, 2008, 397 p.
- Barinova G. N. *Kaliningradskaya oblast'. Klimat* [Kaliningrad region. Climate]. Kaliningrad, 2002, 196 p.
- Bormatenkov O. A., Valutskiy E. N., Vegele M. K. *Nauchnyye osnovy sistemy zemledeliya Kaliningradskoy oblasti* [Scientific foundations of the agriculture system of the Kaliningrad region]. Kaliningrad, 1982, 253 p.
- Geograficheskiy atlas Kaliningradskoy oblasti* [Geographical atlas of the Kaliningrad region] / Gl. red. V. V. Orlenok. Kaliningrad: Kaliningrad University Publishing, CNIT, 2002, 276 p.
- Gulyayev G.V. (ed.) *Spravochnik agronoma Nechernozemnoy zony* [Handbook of the agronomist of the Non-Chernozem zone]. Moscow: Agropromizdat, 1990, 575 p.
- Zaydel'man F. R. *Melioratsiya pochv* [Soil reclamation]. Moscow: Moscow State University Publishing, 2003, 448 p.
- Zaydel'man F. R. *Metody ekologo-meliorativnykh izyskaniy i issledovaniy pochv* [Methods of ecological and reclamation surveys and soil research]. Moscow: KolosS, 2008, 486 p.
- Ivanov A. I., Konashenkov A. A., Ivanova Zh. A., Vorob'yev V. A., Fesenko M. A., Danilova T. A., Filippov P.A. Agrotekhnicheskiye aspekty realizatsii bioklimaticheskogo potentsiala Severo-Zapada Rossii [Agrotechnical aspects of the realization of the bioclimatic potential of the North-West of Russia] // *Агрофизика*, 2016, no. 2, pp. 35–44.
- Ivanov A. I., Yanko Yu. G. Melioratsiya kak neobkhodimoye sredstvo razvitiya sel'skogo khozyaystva Nechernozemnoy zony Rossii [Melioration as a necessary means of developing agriculture in the Non-Chernozem zone of Russia] // *Агрофизика*, 2019, no. 1, pp. 67–78.
- Kaurichev I. S., Orlov D. S. *Okislitel'no-vosstanovitel'nyye protsessy i ikh rol' v genezise i plodorodii pochv* [Redox processes and their role in the genesis and fertility of soils]. Moscow: Kolos, 1982, 247 p.
- Kashchenko N. M., Puntusov V. G., Kovalev V. P. Raschet parametrov rekonstruiyemykh pol'dernykh sistem sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya [Calculation of parameters of reconstructed polder systems for agricultural purposes] // *Melioratsiya i vodnoye khozyaystvo*, 2021, no. 4, pp. 26–30.

- Kiryushin V. I. *Ekologicheskiye osnovy zemledeliya* [Ecological foundations of agriculture]. Moscow: Kolos, 1996, 367 p.
- Natsional'nyy doklad «Global'nyy klimat i pochvennyy pokrov Rossii: otsenka riskov i ekologo-ekonomicheskikh posledstviy degradatsii zemel'. Adaptivnyye sistemy i tekhnologii ratsional'nogo prirodopol'zovaniya (sel'skoye i lesnoye khozyaystvo)» [National report «Global Climate and soil cover of Russia: assessment of risks and ecological and economic consequences of land degradation. Adaptive systems and technologies of rational nature management (agriculture and forestry)»] / Edited by A. I. Bedritskiy. Moscow: Publishing of V. V. Dokuchaev Soil Institute, GEOS, 2018, 286 p.
- Panasin V. I., Deputatov K. V., Vikhman M. I. *Pochvy Kaliningradskoy oblasti i ikh agrokhimicheskiye svoystva* [Soils of the Kaliningrad region and their agrochemical properties]. Kaliningrad: Publishing of the Baltic Federal University, 2020, 240 p.
- Razumova V. V. (ed.) *Pereuvlazhneniye i podtopleniye zemel' v regionakh Rossii* [Waterlogging and flooding of lands in the regions of Russia]. Moscow: Soil Institute named after V. V. Dokuchaev, 2018, 279 p.
- Pokazateli po otsenke i uchetu meliorativnogo sostoyaniya osushennykh sel'skokhozyaystvennykh ugodiy i tekhnicheskogo sostoyaniya osushitel'nykh sistem [2019] [Indicators for assessing and accounting for the ameliorative state of drained agricultural land and the technical condition of drainage systems [2019]. FSBI «Management Kaliningradmeliovodkhoz». Available at: <http://mcx-dm.ru/fgbu/86?report=osvalues&cur=94011> (Accessed 06 June 2020)
- Uskov I. B., Yanko Yu. G. Fiziko-agronomicheskiye osnovy nauchnogo obespecheniya kompleksnykh melioratsiy zemel' [Physico-agronomic foundations of scientific support of complex land reclamation] // *Agrofizika*, 2016, no. 4, pp. 58–64.
- Uskov I. B., Moiseyev K. G., Nikolayev M. V., Kononenko O. V., Uskov A. O. Analiz sistemy «osadki – pochva – drenazh» v usloviyakh izmeneniya klimata na Severo-Zapade Rossii [Analysis of the precipitation – soil – drainage system in the conditions of climate change in the North-West of Russia] // *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta problem melioratsii*, 2020, no. 4, pp. 205–226.
- Tserling V. V. *Iz istorii opytnogo dela na territorii Kaliningradskoy oblasti* [From the history of experimental business on the territory of the Kaliningrad region] // *Agrokhimicheskiye raboty v Kaliningradskoy oblasti*. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1959, pp. 7–39.
- Shein E. V. *Kurs fiziki pochv* [Course of soil physics]. Moscow: Moscow State University Publishing, 2005, 432 p.
- Shein E. V., Bolotov A. G., Dembovetskiy A. V. Gidrologiya pochv agrolandshaftov: kolichestvennoye opisaniye, metody issledovaniya, obespechennost' pochvennykh zapasov vlagi [Soil hydrology of agricultural landscapes: quantitative description, research methods, provision of soil moisture reserves] // *Pochvovedeniye*, 2021, no. 9, vol. 55, pp. 1076–1084.
- Shchedrin V. N. Melioratsiya v Rossii: problemy i perspektivy [Melioration in Russia: problems and prospects] // *Melioratsiya i vodnoye khozyaystvo*, 2018, special issue, pp. 30–36.
- Antsiferova O. A. Monitoring-based investigation of Cambisols moisture regimes for areas in autonomous relief positions. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, vol. 368 (in press). DOI: 10.1088/1755-1315/368/1/012004
- Bogena H. R., White T., Bour O., Li X., Jensen K. H. Toward better understanding of terrestrial processes through long-term hydrological observatories // *Vadose Zone Journal* (in press), 2018. DOI 10.2136/vzj2018.10.0194
- Gobin A., Kersebaum K. C., Eitzinger J., Trnka M. Variability in the Water Footprint of Arable Crop Production across European Regions // *Water Journal*, 2017 (in press). DOI: 10.3390/w9020093
- Mihailović D. T., Drešković N., Arsenić I., Ćirić V. Impact of climate change on soil thermal and moisture regimes in Serbia: An analysis with data from regional climate simulations under SRES-A1B // *Science Total Environment* (in press), 2016. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.06.142