

**Таблица 4.** Изменение стока р. Ясельда – г. Береза в % от естественного для вариантов 3 и 6 изменения климата при сработке торфяно-болотных почв, подстилаемых песком на 30 % площади водосбора

Сценарий изменения климата	Месяцы												Год
	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	
вариант 3	29,3	20,7	42,1	33,4	-1,0	16,6	23,3	53,4	44,7	28,5	35,0	36,5	29,8
вариант 6	37,2	23,0	41,4	48,7	25,2	72,4	60,2	110,0	82,6	37,3	36,5	48,3	46,0

**СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Мезенцев, В.С. Увлажненность Западно-Сибирской равнины / В.С. Мезенцев, И.В. Карнацевич – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 168 с.
2. Мезенцев, В.С. Гидрологические расчеты в мелиоративных целях / В.С. Мезенцев, Г.В. Белоненко, И.В. Карнацевич, В.В. Лоскутов. – Ч. I. – Омск, 1980. – 80 с.
3. Волчек, А.А. Моделирование динамики почвенных влагозапасов в условиях гидромелиорации / А.А. Волчек, В.Е. Валуев, К.Т. Юрченко // Совершенствование и реконструкция мелиоративных систем: труды ВНИИГиМ. – М., 1990. – Т. 78. – С. 46–55.
4. Волчек, А.А. Методика определения максимально возможного испарения по массовым метеоданным (на примере Белоруссии) // Научно-техническая информация по мелиорации и водному хозяйству (Минводхоз БССР), 1986. – № 12. – С. 17–21.
5. Ресурсы поверхностных вод СССР. Белоруссия и Верхнее Поднепровье. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – Т. 5, ч. 2: Основные гидрологические характеристики – 720 с.
6. Климат Беларуси / Под ред. В.Ф. Логинова. – Мн.: Институт геологических наук АН Беларуси, 1996. – 234 с.
7. Изменение климата Беларуси и их последствия / В.Ф. Логинов, Г.И. Сачок, В.С. Микуцкий, В.И. Мельник, В.В. Коляда; под общ. ред. В.Ф. Логинова; ин-т пробл. использования природ. ресурсов и экологии НАН Беларуси. – Мн.: ОДО «Тонпик», 2003. – 330 с.

Материал поступил 05.08.14

**VOLCHAK A.A., VALUEV V.E., MESHNIK O.P., DASHKEVICH D.N., PARFOMUK S.I. Change and forecast water resources caused by human and natural causes**

The article presents the results of studies of water balance of river basins of Belarus. Spotted transformation of natural water regime and stream-flow Yaselda River. The simulation of the climate in the catchment area of the river Photo Yaselda for different underlying surfaces and various climate change scenarios. Expected climate change will lead to the transformation of runoff.

УДК 519.216.3: 627.8

**Левкевич В.Е., Михневич Э.И.**

**РАЙОНИРОВАНИЕ РЕГИОНОВ БЕЛАРУСИ ПО РАЗВИТИЮ АБРАЗИОННОГО РИСКА НА ВОДОХРАНИЛИЩАХ**

**Введение.** В настоящее время в мире функционирует более 60 тысяч искусственных водоемов (водохранилищ) – с полным объемом более 6,5 тыс. км<sup>3</sup> и площадью водного зеркала около 400 тыс. км<sup>2</sup>. В Беларуси водохранилища широко используются в целях мелиорации, рекреации, регулирования поверхностного и речного стока, рыбного хозяйства, технического и питьевого водоснабжения, а также для энергетических нужд. На данный момент эксплуатируется около 150 водохранилищ различного типа с общей площадью около 2500 км<sup>2</sup> и полным объемом 10 км<sup>3</sup>. Протяженность береговой линии водохранилищ республики составляет более 1500 км, из них около 320 км (более 20%) подвержено активным процессам абразии (переработки – разрушения) (рис. 1).



**Рис. 1.** Переработка берегов Лепельского и Заславского водохранилищ

Процессы, которые происходят в береговой зоне искусственных водных объектов, оказывают большое отрицательное воздействие на функционирование многих отраслей промышленности и сельского хозяйства, в результате чего происходит отторжение земель из сельскохозяйственного использования, возникает необходимость в переносе жилых и производственных зданий. Одним из основных вопросов при решении вышеуказанной проблемы является прогнозирование развития береговых абразионно-эрозионных процессов на водных объектах и незащищенных откосах подпорных сооруже-



**Левкевич В.Е.,** Государственное научное учреждение «Институт экономики Национальная академия наук» (г. Минск, Республика Беларусь), e-mail: ecoserv@tut.by.

**Михневич Э.И.,** Учреждение образования «Белорусский национальный технический университет» (г. Минск, Республика Беларусь).

Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология

ний с оценкой масштабов их проявления на картах районирования, необходимых для принятия управленческих и инженерных мероприятий по их локализации и уменьшению убытков от разрушения объектов экономики.

**1. Анализ развития процесса абразии и чрезвычайных ситуаций.** Вероятность аварий на гидросооружениях и крупных техногенных аварий на других объектах имеет тенденцию роста. В большинстве случаев аварии плотин происходят в период их строительства и в начале эксплуатации, т.е. в течение 5–7 лет после наполнения водохранилища. За это время полностью проявляются дефекты производства работ, устанавливается фильтрационный режим и стабилизируется деформационная схема сооружения. Затем наступает длительный период – около 30–40 лет, когда общее состояние сооружения оказывается достаточно устойчивым и аварии маловероятны. В Российской Федерации за последние 10–15 лет на водохозяйственных объектах отмечалось значительное снижение уровня надежности и увеличение опасности возникновения аварийных ситуаций в связи с общим снижением уровня надзора за их безопасностью и снижением качества ремонтных работ. В аварийном и предаварийном состоянии находятся плотины, 12% водохранилищ и 20% накопителей стоков вследствие повреждения ответственных элементов водосбросов, затворов, фильтрации, переполнения и других причин с учетом периода эксплуатации водохранилищ Республики Беларусь, считается, что к 2014 г. около 50% водных объектов и их ГТС превысит срок эксплуатации более 40 лет, вследствие чего увеличится и вероятность их повреждения.

Вероятность разрушения подпорных сооружений в Беларуси выросла после распада СССР, в результате чего были ликвидированы некоторые органы управления водным хозяйством и водохранилища стали переходить к категории «бесхозных» [1, 2, 3]. Для Беларуси проблема эксплуатации «бесхозных» водохранилищ наиболее актуальна для территории катастрофической аварии на Чернобыльской АЭС. На данной территории расположено 8 водохранилищ, которые относятся к бассейну р. Припять и принадлежат Хойникскому, Ельскому, Наровлянскому и Ветковскому районам. Общий объем данных водоемов составляет около 54 млн. м<sup>3</sup>, а площадь зеркала 14,7 км<sup>2</sup>. Основное их назначение – это орошение, увлажнение, рыборазведение, а также техническое водоснабжение. В результате катастрофы на Чернобыльской АЭС на водохранилищах были сокращены работы по поддержанию гидротехнических сооружений и водохранилищ в работоспособном состоянии, что позволяет отнести их к источникам возникновения риск-ситуаций.

**2. Результаты исследований и прогноза развития абразии склонов.** Анализ материалов наблюдений показал, что переработка береговых склонов на водохранилищах первой группы (колебание уровней в безледный период не более 0,5 м) стабилизируется через 5–10 лет эксплуатации и 10–15 – для второй группы водохранилищ (колебание уровней более 0,5 м) при условии, что не изменяется их проектный гидрологический режим (Кирвель И.И., Левкевич В.Е., 2004). Наблюдения в настоящий период проводятся по всей территории Республики Беларусь на всех типах водохранилищ, расположенных практически во всех геоморфологических районах (Центральная часть, Поозерье и Полесье) и бассейнов основных рек (Западная Двина, Неман, Припять, Днепр) [4,5]. Общее количество подверженных обследованию водохранилищ составило около 110, из них на 50 водных объектах наблюдались процессы переработки с протяженностью береговой линии, подверженной абразии, более 25 км [4, 5]. Характеристики разрушаемых береговых склонов занесены в общую базу данных разрушаемых или разрушенных берегов (табл.1). Нарушения режима эксплуатации гидротехнических сооружений на Краснослободском водохранилище привело к резкому поднятию уровня воды (в течение одного сезона) выше проектных отметок, что вызвало разрушение берегового склона с величиной линейной переработки более чем на 3,5 м (рис. 2). Протяженность участков размыва в плане составила более 450 м. Береговой обрыв имеет высоту 1...1,2 м [6].



Рис. 2. Створы № 1 и № 2 на Краснослободском водохранилище

По результатам ранних натуральных наблюдений строились поперечные профили береговых склонов с их морфологическим и морфометрическим описанием (рис. 3–4) [6, 7, 8, 10].

Основными параметрами, характеризующими процесс переработки береговых склонов (абразии) являются: величина линейной переработки берега –  $S_b$ , м; объем переработки –  $Q_b$ , м<sup>3</sup>/мп; скорость линейной переработки –  $q_{Sb}$ , м/год; скорость объемной переработки –  $q_{Qb}$ , м<sup>3</sup>/год; протяженность абразионного берега  $L_S$ , м.

Данные характеристики процесса абразии получают путем проведения ряда натуральных полевых наблюдений с использованием различных приборов и оборудования. На формирование основных показателей процесса абразии оказывают влияние такие природные процессы, как ветровое и волновое воздействие, колебание воды в верхнем бьефе водохранилищ, вдольбереговые течения и др. При изучении рисков абразии на искусственных водных объектах республики ставились следующие задачи:

- выделение районов республики, искусственные водные объекты которых наиболее подвержены процессам переработки берегов;
- оценка частоты (вероятности) возникновения основных этапов процесса абразии на искусственных водных объектах;
- изучение масштабов и динамики протекания основных факторов, способствующих процессу абразии;
- разработка вероятностных показателей процесса абразии.

Значения показателя территориального риска абразии –  $\gamma_A$  определяется по формуле вида:

$$\gamma_A = \frac{\sum S_{абр.}^{s-щ}}{S_{p-на}}, \quad (1)$$

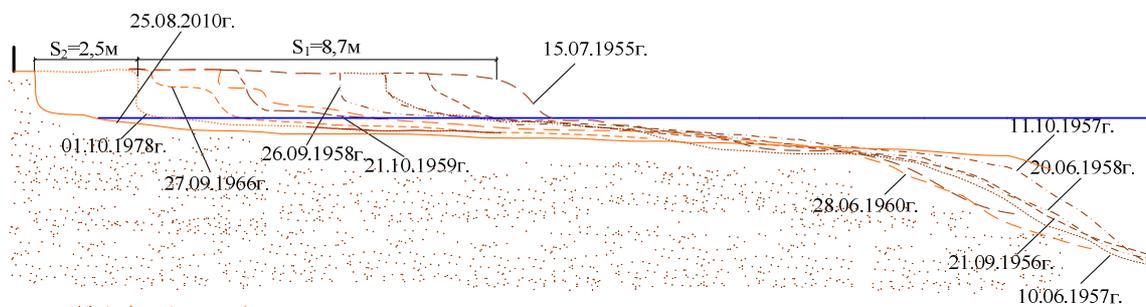
где в числителе – суммарная площадь зеркала водохранилищ административного района, в знаменателе – площадь района. Значения показателя территориального риска абразии представлены ниже в табл.2, рассчитанной для тестового региона Беларуси – Минской области, как наиболее характерной, с точки зрения плотности расположения водохранилищ и их хозяйственного использования.

Полученные показатели в дальнейшем применялись при построении карт абразионного риска с использованием информационных систем и геоинформационных технологий [8].

Под термином *абразионный риск* в данной работе понимается произведение вероятности наступления процесса абразии на определенном водоеме на возможный ущерб от данного процесса за промежуток времени, равный 1 год, либо за период наблюдений.

Таблица 1. Характеристика берегов некоторых обследованных водохранилищ Беларуси

Название водохранилища	Район (область) расположения	Тип	Протяженность абразионных берегов, км
Бассейн р. Западная Двина			
Браславское	Браславский (Витебская)	озерное	0,70
Гомельское	Полоцкий (Витебская)	озерное	0
Добромысленское	Лиозненский (Витебская)	русловое	0,60
Езерищенское	Городокский (Витебская)	озерное	2,50
Клястицкое	Россонский (Витебская)	русловое	0,50
Лукомское	Чашникский (Витебская)	русловое	0,50
Дривяты	Браславский (Витебская)	озерное	0,50
Селявское	Крупский (Минская)	озерное	1,20
Хоробровка	Миорский (Витебская)	озерное	1,50
Лепельское*	Лепельский (Витебская)	озерное	3,0
Бассейн р. Днепр			
Волма	Червенский (Минская)	русловое	0,20
Вяча	Минский (Минская)	русловое	0,5
Дрозды	Минский (Минская)	русловое	0,70
Дубровское	Смолевичский (Минская)	русловое	1,50
Криницы	Минский (Минская)	русловое	0,30
Осиповичское*	Осиповичский (Могилевская)	русловое	1,50
Заславское*	Минский (Минская)	русловое	1,50
Острошицкий Городок	Минский (Минская)	русловое	0,40
Раубичи	Минский (Минская)	русловое	0
Чижовское	Минский (Минская)	русловое	1,20
Комсомольское озеро	Минский (Минская)	русловое	0
Цнянское	Минский (Минская)	русловое	0,30
Петровичское	Минский (Минская)	русловое	0,40
Тетеринское	Круглянский (Могилевская)	русловое	0,20
Чигринское	Кировский (Могилевская)	русловое	0,50
Бассейн р. Неман			
Вилейское	Вилейский (Минская)	русловое	1,50
Зельвенское	Зельвенский (Гродненская)	русловое	0,50
Лаздунское	Ивьевский (Гродненская)	русловое	0
Жемьльславское	Ивьевский (Гродненская)	русловое	0,15
Гезгальское	Дятловский (Гродненская)	русловое	0,25
Волповское	Волковысский (Гродненская)	русловое	0,30
Бассейн р. Припять			
Автоки	Калинковичский (Гомельская)	русловое	0,50
Волковичи (Птичь)	Минский (Минская)	русловое	0,70
Загатье (Вить)	Хойникский (Гомельская)	русловое	0,40
Млынок	Ельский (Гомельская)	русловое	0,40
Красная слобода*	Солигорский (Минская)	наливное	0,45
Любанское	Любанский (Минская)	русловое	0
Локтыши	Ганцевичский (Брестская)	русловое	0
Погост	Пинский (Брестская)	озерное	0
Солигорское	Солигорский (Минская)	русловое	0,35
Рудня	Солигорский (Минская)	русловое	0
Селец	Березовский (Брестская)	русловое	0,60
Лешненское	Мозырьский (Гомельская)	русловое	0,30



Отметки, м	/	1,58	0,25	0,35	0,45	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,75	0,8	0,95
Расстояние, м	/	1,4	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	
Угол, град	/	10,8	2,34										

Рис. 3. Поперечный профиль створа № 3 Осиповичского водохранилища

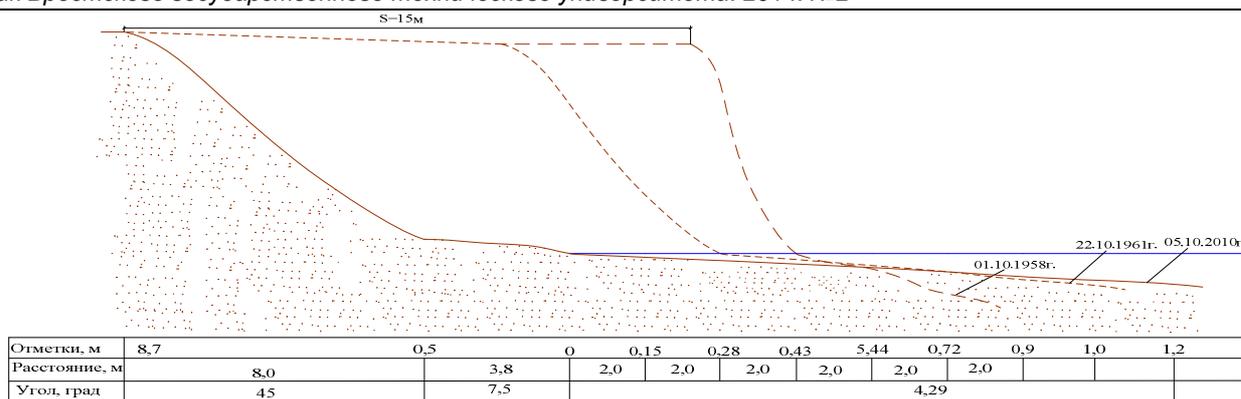


Рис. 4. Поперечный профиль створа № 9 Лепельского водохранилища

Таблица 2. Значение коэффициента территориального риска абразии по районам Минской области

Район расположения водохранилища	Средняя величина линейной переработки $S_t$ , км	Общая протяжённость абразионных берегов $L_{абр.}$ , км	Общая площадь территории абразии, км <sup>2</sup>	Площадь района расположения водохранилищ	Показатель абразии $\gamma_a$
Минский	0,002	20,1	0,402	2221,0	$18,2 \cdot 10^{-6}$
Червенский	0,002	1,5	0,003	1620,0	$1,85 \cdot 10^{-6}$
Смолевичский	0,002	4,3	0,0086	1423,0	$6,04 \cdot 10^{-6}$
Логойский	0,002	1,2	0,0024	2318,0	$1,03 \cdot 10^{-6}$
Березинский	0,002	2,7	0,0054	1928,0	$2,8 \cdot 10^{-6}$
Узденский	0,002	1,1	0,0022	1133,0	$1,94 \cdot 10^{-6}$
Копыльский	0,002	1,1	0,0022	1612,0	$1,37 \cdot 10^{-6}$
Любанский	0,002	1,2	0,0024	1875,0	$1,28 \cdot 10^{-6}$
Стародорожский	0,002	1,1	0,0022	1396,0	$1,58 \cdot 10^{-6}$
Дзержинский	0,002	1,2	0,0024	1212,0	$1,98 \cdot 10^{-6}$
Пуховичский	0,002	1,2	0,0024	2457,0	$0,98 \cdot 10^{-6}$
Вилейский	0,002	2,0	0,004	2423,0	$1,65 \cdot 10^{-6}$
Крупский	0,0035	1,2	0,0042	2134,0	$1,97 \cdot 10^{-6}$
Воложинский	0,002	1,1	0,0022	1919,0	$1,15 \cdot 10^{-6}$
Солигорский	0,002	2,3	0,0046	2476,0	$1,86 \cdot 10^{-6}$

Применительно к процессу абразии на искусственных водных объектах понятие «риск» относится к возможным воздействиям на объект и его реакции на эти воздействия [9]. В качестве объекта в данном случае принимается береговой склон водохранилища, либо незащищенные верховые откосы дамб и плотин. Под воздействиями понимаются основные факторы, приводящие к абразии: ветровое и волновое воздействие, колебание уровней воды в водохранилище, течения др. Воздействие на объект вызывает определенную «опасность», которая численно оценивается через вероятность возникновения. В соответствии с алгоритмом по оценке абразионного риска определяются критерии абразионной опасности, т.е. при каких значениях параметров берегоформирующих факторов процесс абразии приобретает рискообразующие масштабы. По данным [3] к основным критериям абразионной опасности относятся: величина линейной переработки ( $S_b$ , м), интенсивность переработки ( $Q_b$ , м<sup>3</sup>) и скорость переработки берега ( $q_b$ , м/год). Интенсивность процесса переработки береговой линии на заданный срок может быть выражена через линейные, площадные или объёмные скорости берегоразрушений [6, 7]. Конечная вероятность возникновения рассматриваемого процесса определяется по формуле:

$$P(S_i) = S_1 + (S_2 + (S_4 * S_5)) * S_3, \quad (2)$$

где  $S_1$  – вероятность возникновения (обеспеченность) амплитуды колебания уровней воды в водохранилище;  $S_2$  – вероятность возникновения (обеспеченность) ветрового воздействия;  $S_3$  – вероятность возникновения (обеспеченность) течения в верхнем районе водохранилища;  $S_4$ ,  $S_5$  – вероятность (обеспеченность) волн различной высоты.

Оценка ущерба от ЧС является составляющей частью риска, без которой установить его значение не представляется возможным. Расчет данного параметра для установления абразионного риска до настоящего времени не проводился. Представленная оценка является первым приближением, которая по мере накопления необходимой информации может быть уточнена и дополнена. Данная оценка выполнена на основании обобщений имеющихся материалов по методам и опыту расчета ущербов от других видов чрезвычайных ситуаций, решающих близкую задачу.

Общий ущерб от абразии берегов  $D$  следует определять суммированием всех возможных видов ущерба:  $D_1$  – потери основных фондов (строений, креплений, водозаборов и др.),  $D_2$  – потери оборотных фондов;  $D_3$  – потери природных ресурсов (земельных угодий, лесных ресурсов и др.);  $D_4$  – недополученная прибыль;  $D_5$  – затраты на ликвидацию последствий;  $D_6$  – прочие ущербы.

**3. Районирование территории Беларуси по абразионному риску.** При районировании основным количественным критерием служила величина наибольшей линейной переработки надводной части естественного берегового склона или верхового незакрепленного откоса дамбы (плотины) в случае наливного водохранилища. Исходя из масштабов процесса, его динамики и времени эксплуатации существующих водохранилищ были рассчитаны также относительные критерии районирования, которые принимались на период стабилизации процесса. Использование системного подхода при изучении количественных характеристик абразии берегов водных объектов позволило установить, что в пределах трёх областей (Полозье, Центральная и Полесье) выделяются шесть районов, кото-

рые характеризуются различной интенсивностью процессов. Полученная схема районирования совпадает с геологической и морфологической картами республики и отражает наиболее полно геодинамические процессы, которые протекают в береговой зоне водохранилищ. При оценке деформаций – размыве береговых склонов наиболее чётко выделяются следующие пределы максимальных размывов: до 2.0, до 5.0, до 20.0, до 35м. Наибольшие размывы, по данным натурных исследований, возможны в области Поозерья, в районе I и Центральной части, в районах II, III, т.е. на участках территорий с чётко выраженным ледниковым рельефом, наличием моренных грунтов, крутых и высоких береговых склонов водохранилищ. В Полесье, имеющем спокойный, равнинный рельеф, выделяются районы с небольшой активностью береговых процессов (районы V, VI) [8–10]. Для условий Минской области было произведено районирование по величине территориального риска абразии. [11, 12]. Карта районирования территории Минской области по коэффициенту территориального риска абразии представлена ниже на рис. 5.

**Заключение.** Таким образом, в результате выполнения комплексных работ по исследованию абразионных риск-процессов были решены следующие задачи:

- разработаны показатели абразионного риска по основным факторам, определяющим процесс абразии;
- разработаны показатели, характеризующие риск-ситуации абразионного процесса;
- произведено районирование территории Республики Беларусь по величине линейной переработки абразии, а также районирование территории Минской области по показателю распределения территориального риска абразии.

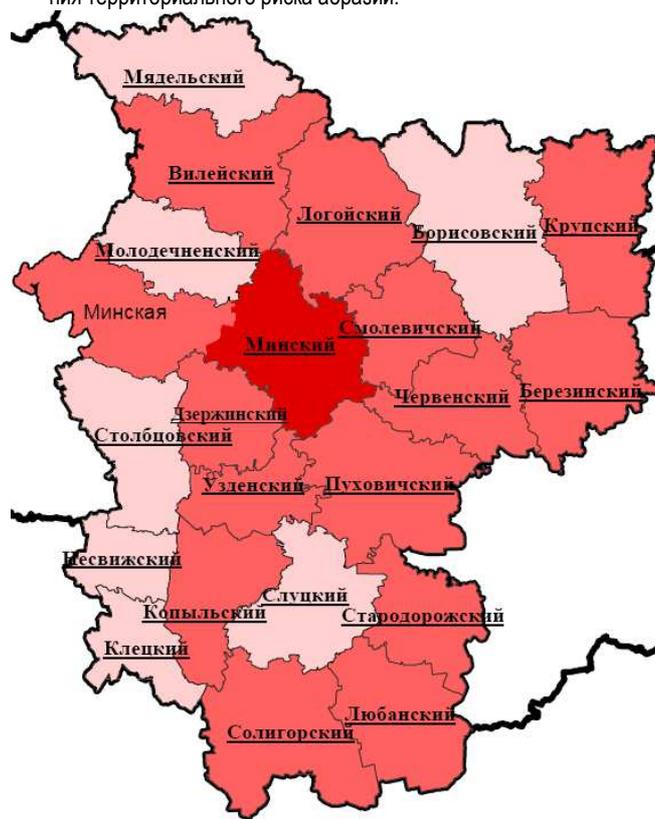


Рис. 5. Районирование территории Минской области по величине территориального риска абразии

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кирвель, И.И. Развитие современных береговых процессов на искусственных водоемах Беларуси / И.И. Кирвель, В.Е. Левкевич // Брэсцкі геаграфічны веснік. – 2004. – Вып. 1, Т. 4. – С. 47–50.
2. Левкевич, В.Е. Закономерности развития деформаций грунтовых откосов дамб и плотин и естественных береговых склонов в условиях водных объектов Беларуси // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания: сборник докладов IV Международной научно-практической конференции / В.Е. Левкевич, Э.И. Михневич. – Брест: БрГТУ, 2013 – С. 122–125.
3. Левкевич, В.Е. Активизация береговых деформаций на водохранилищах Беларуси как фактор возникновения чрезвычайных ситуаций / В.Е. Левкевич, В.В. Кобяк, М.С. Кукшинов. – Минск: Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2011. – № 1 (29). – С. 64–76.
4. Широков, В.М. Формирование берегов малых водохранилищ лесной зоны / В.М. Широков, П.С. Лопух, В.Е. Левкевич. – С.-Пб.: Гидрометеиздат, 1992. – 160 с.
5. Широков, В.М. Методические рекомендации по оценке воздействий малых водохранилищ на окружающую среду / В.М. Широков, П.С. Лопух, В.Е. Левкевич; под ред. В.М. Широкова – Минск: Белгосуниверситет, 1995. – 68 с.
6. Кобяк, В.В. Результаты лабораторных и натурных исследований береговых процессов водохранилищ Беларуси // Вестн. Команд.-инженер. ин-та МЧС Респ. Беларусь. – 2011. – № 1 (13). – С. 15–22.
7. Левкевич, В.Е. Рекомендации по прогнозированию переработки абразионных берегов малых равнинных водохранилищ, сложенных несвязными грунтами / В.Е. Левкевич. – Минск: ЦНИИКИВР, 1984. – 38 с.
8. Левкевич, В.Е. Безопасность и риски устойчивого развития территорий: монография / В.Е. Левкевич, А.М. Лепихин, В.В. Москвичев, П.Г. Никитенко, В.В. Ничепорук, Н.Я. Шапарев, Ю.И. Шокин. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2014. – 278 с.
9. Касперов, Г.И. Методические рекомендации по оценке рисков на искусственных водных объектах Республики Беларусь / Г.И. Касперов, В.Е. Левкевич, С.М. Пастухов, М.С. Кукшинов. – Минск: Право и экономика, 2007. – 63 с.
10. Левкевич, В.Е. Методические рекомендации по прогнозированию деформаций (переработки) берегов проектируемых и находящихся в эксплуатации водохранилищ Беларуси (методом природных аналогов) / В.Е. Левкевич, В.В. Кобяк. – Минск: Право и экономика, 2011. – 46 с.
11. Анищенко, В.В. Технология мониторинга и оценки природных рисков на водных объектах Беларуси // Актуальні проблеми економіки / В.В. Анищенко, В.Е. Левкевич, В.А. Мильман. – Київ: ВНЗ «Національна академія управління». – 2010. – №10 (112) – С. 307–314.
12. Анищенко, В.В. Мониторинг природных рисков на водных объектах / В.В. Анищенко, В.Е. Левкевич, В.А. Мильман, Г.И. Касперов. – Минск: Наука и инновации, РУП «Издательский дом «Белорусская наука». – 2013. – №6(124) – С. 20–23.

Материал поступил в редакцию 24.03.14

#### LEVKEVICH V.E., MIKHNEVICH E.I. Division into districts of regions of Belarus on development of abrasion risk on reservoirs

The research results of abrasion processes on the banks of reservoirs of Belarus. Analyzes the scope of the process of coastal erosion. Given the zoning of the country at risk of abrasion.