

Приложение 2.2.7.2¹

Критерии и индикатори за оценка на тенденциите на засушаване и недостиг на вода в бъдещи периоди, свързани с очакваните климатични промени

Резултатите и анализите са съгласно тези представени в научна разработка на тема „Оценка на натиска и въздействието върху повърхностните и подземните води от изменението на климата и оценка на наличието на вода за икономическите сектори”.

Цялостно характеризиране на засушаването на практика не може да се осъществи с приложението само на един индикатор. Въпреки, че много методи служат за оценка на явлениято, на практика все още не съществува единен подход за неговото определяне и описание. Най-добрия вариант е да се комбинират различни индикатори, в зависимост от нуждите на управлението, наличните данни и информация и организационния бюджет.

В тази връзка са избрани три различни подхода, които да дадат представа за тенденциите на засушаване, свързани с очакваните климатични промени.

Подход за анализ и оценка на базата на официални материали и литературни данни – Първи слой за оценка – Индикатор I

Разгледани са подробно всички публикувани и официално приети материали във връзка със засушаването като цяло и конкретно за България. Избрани са основно два материала:

- Монография под редакцията на проф. Веселин Александров, на тема „Методи за мониторинг, оценка и въздействие на сушата в България” във връзка с реализирането на европейски проект „Център за управление на сушите в Югоизточна Европа”, 2011 г. В нея екип специалисти от НИМХ предоставят актуална информация за пространственото разпределение на районите в България, уязвими към засушаване (почвено, атмосферно и почвено-атмосферно), както и климатичните сценарии за ХХ в. и връзката им с почвено засушаване в региона на ЮЕЕ и България. Според това изследване, общините с повишен риск към почвено-атмосферно засушаване са локализираны в южната и източната части на страната, както и в крайдунавските територии (Александров, 2011).

- „Сушата в България“, под редакцията на проф. д-р В. Александров, 2011 г., в която подробно са разгледани разпределението на климатичните елементи на територията на България и тяхното изменение, промените в климата и сушата в България, както и пространственото разпределение на районите в страната, уязвими към засушаване. Публикуваните карти представят застрашените към атмосферно, почвено и почвено-атмосферно засушаване райони в България.

¹ Приложение е актуализирано въз основа на Приложение 2.1.5.2 към ПУРБ 2016 – 2021 г. за ДРБУ. При актуализация на приложението са допълнени потенциалните косвени влияния, които може да окаже този вид натиск, при повърхностните води.



$$q = Q/A \quad (\text{l/s.km}^2)$$

Q – водното количество, определено за даден период в (m^3/s) или (l/s) ;

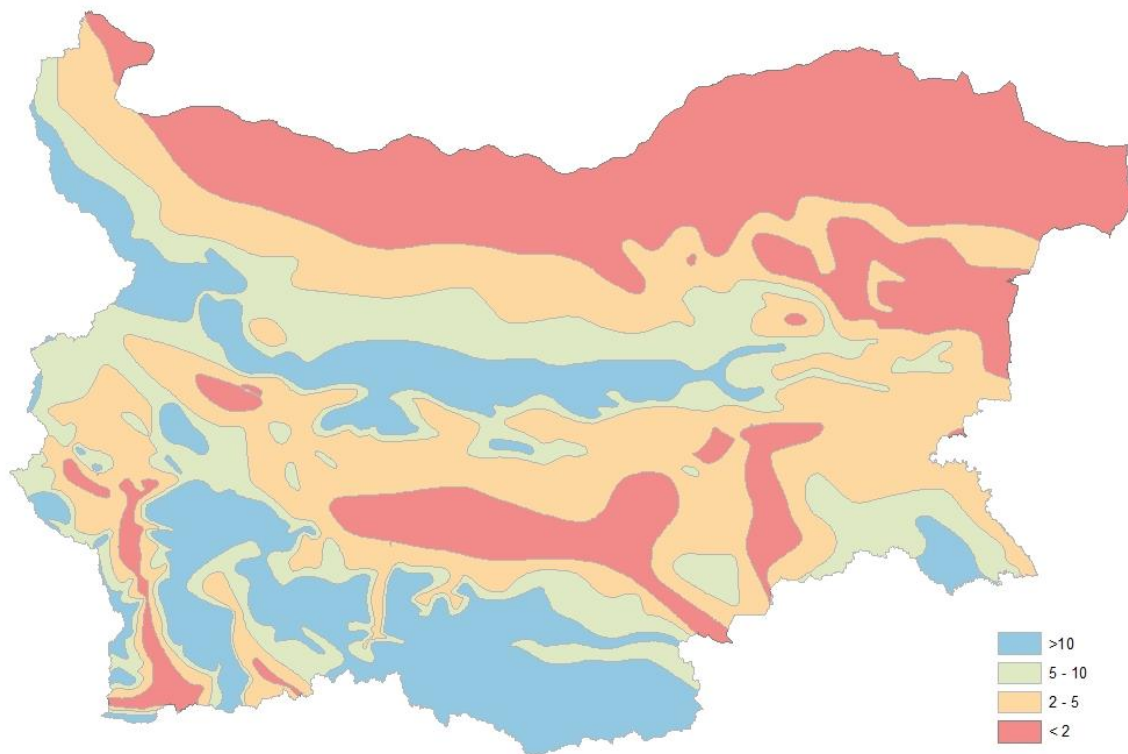
A – площ на водосборната област в (km^2).

С модула на оттока се сравнява водносността на различните реки и може да се определи разпределението на оттока по площта на водосборната област.

Като втори слой и втори индикатор е използвано картирането на модула на годишния отток за България, представено в Атлас на Р България, БАН.

Разпределението на модула на годишния отток е представено на Фигура 2.

Практиката в централна Европа показва, че райони с модул на годишния отток под 10 l/s.km^2 са особено застрашени от засушаване и недостиг на вода. За същите следва да се обърне особено внимание на устойчивостта на мерките за адаптиране към климатични промени. Blöschl G. (2011).



Фигура 2. Райониране по Индикатор II –модул на годишния отток, ($l/s.km^2$) (въз основа на Атлас на Р България, БАН)

Подход за анализ и оценка на базата на индексите на маловодието – Трети слой за оценка - Индикатор III

Според Bernan, Rodier (1985) има голяма разлика между засушаването на речния отток и маловодието. Първото е воден дефицит за някои специфични нужди, докато маловодието нормално се наблюдава при засушаване, отразявайки една определена част от хидроложкото засушаване – обхвата на засушаването. Възможно е да се наблюдава период, при който оттока е под обичайния или пък такъв, в който оттока е недостатъчен. И в двата случая засушаването се характеризира чрез стойностите на маловодието, като е необходима ясна диференциация между засушаване и период на маловодие.

Терминът „период на маловодие“ обикновено се свързва с режима на оттока, като „периода на маловодие“ и „периода на високи води“ се използва за описание на естествените годишни колебания на речния отток, свързани с годишния цикъл на регионалния климат. В зависимост от климата, в режима на оттока може да фигурират един или повече периоди на маловодие и високи води. (*„РЪКОВОДСТВО ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА МАЛОВОДИЕТО С ЦЕЛ ПРЕДОТВРЯВАНЕ НА ЗАСУШАВАНЕТО В ДУНАВСКАТА РАВНИНА“ – НИМХ и INHGA, 2015 г.*).

Маловодието се възприема като един от възможните екстремуми и като част от хидроложкия режим на реките. В същото време, то може да се приеме като резултат и като индикатор на засушаването.

Характеризирането на маловодието и засушаването е процес на анализ и оценка на различна по тип информация, касаеща наличието на вода в речните течения. Изследванията може да се извършват с два вида данни: данни, получени чрез директни измервания на речния отток и с данни, получени чрез изчисление или моделиране, прилагайки различни методи за регресионен анализ за характеризиране на маловодието или с хидроложки или водобалансови методи, подходящи за изследване на хидроложкото засушаване.

Маловодието може да се анализира по множеството различни начини за анализ на времевите серии от данни за дневния отток, с цел получаване на обобщена информация, която описва режима на маловодие на дадена река.

Терминът „индекси на маловодие“ (low-flow indices) се използва за специфични стойности, получени от анализа на маловодието. Някои са единични стойности, като например константа на намаление, пропорционалното съотношение на подземния отток или средната стойност на дадена серия. Те се наричат индекси на маловодие.

Много решения, свързани с проектирането или управлението на водните ресурси са базирани на следните индекси:

- *Среден отток* – една от най-често използваните статистики в областта на хидрологията и планирането на водните ресурси. Обикновено се изчислява на базата на данни от цели календарни или хидроложки години. Може да се изчисли и за конкретни месеци или сезони;

- Q_{95} – един от най-използваните индекси за ниски водни нива в оперативната



работа, който се определя като водно количество, с вероятност за превишение 95%. Този процентил, както и другите (Q_{90} , Q_{70} и т.н.), се получава от кривата на обезпеченост на годишния отток.

- *Среден годишен минимум: MAM (n-day)*. Годишният минимум може да се получи от сериите за денонощните водни количества, като се избере най-ниското водно количество за всяка година и се осреднени в многогодишен разрез.

- *Индекс на подземния отток – BFI* е съотношението на подземния отток към общия отток, изчислен на базата на процедурата за разделяне на хидрографа.

Индикаторите за оценка на маловодието могат да се използват както за оценка на минималния отток и характеризиране на маловодието, така и за диагностициране на хидроложкото засушаване и оценка на степента на засушаване (Bernan, Rodier (1985), McMahon, Arenas (1982), Dakova (2004)).

Тъй като тук става въпрос не толкова за оценка на същинското маловодие, а по-скоро за тенденциите в изменението на ниските води във връзка с очакваните климатични промени, и то по отношение на техния икономически и социален аспект, като най-подходящ индикатор за целите на конкретната задача от проекта е избран Q_{95} – *годишен отток с вероятност за превишение 95%*. Като индикатори ще бъдат използвани получените от моделирането на относителното изменение на ниските води в резултат на климатичните промени *Delta Change Q_{95}* за различните времеви периоди при различните сценарии.

За всеки избран индикатор са определени степени или прагови стойности.

1. Индикатор I – по Александров – по същество представлява тренд-анализ за оценка на засушаването. Базиран е на дългосрочни наблюдения на климатичните елементи. Показва териториалното разпределение на разглежданите климатичните елементи до момента, както и тенденциите в тяхното изменение в бъдеще във връзка с очакваните климатични промени. Използвано е картирането на риска от почвено-атмосферно засушаване за територията на България. Анализа по този индикатор съставлява **първия слой за оценка на тенденциите на засушаване**. Приети са три степени на риска от засушаване - *райони със значим риск от почвено-атмосферно засушаване, райони с умерен риск от почвено-атмосферно засушаване и район със слаб риск от почвено-атмосферно засушаване*.

2. Индикатор II – по модул на годишния отток – хидроложки индикатор за засушаване. Базиран на наблюдения на оттока до настоящия момент. Показва степента на водност на отделните речни басейни. Позволява предварително да се разграничат речни басейни с поначало намалена отточност, които като цяло са и по-застрашени от бъдещи засушавания. Оценката по този индикатор съставлява **втория слой за оценка на тенденциите на засушаване**. Приети са три прагови стойности на риска от засушаване - *райони със значим риск от хидроложко засушаване – $q < 2$ (l/s.km²), райони с умерен риск от хидроложко засушаване – $2 < q < 5$ (l/s.km²) и район със слаб риск от хидроложко засушаване – $5 < q < 10$ (l/s.km²)*.

3. Индикатор III – по моделирани *Delta Change Q_{95}* - индикатор за изменението на



ниските води. Получен чрез анализ на моделирани редици. По същество надгражда настоящото положение с моделираните изменения *Delta Change* за бъдещи периоди при различни сценарии. Оценката по този индикатор съставлява **третия слой за оценка на тенденциите на засушаване**. Приети са три прагови стойности на риска от бъдещо засушаване - *райони със значим риск от бъдещо засушаване* – $Delta\ Change\ Q_{95} < - 10\%$, *райони с умерен риск от бъдещо засушаване* – $- 10\% < Delta\ Change\ Q_{95} < - 5\%$ и *район със слаб риск от бъдещо засушаване* – $- 5\% < Delta\ Change\ Q_{95} < 0\%$.

Delta Change подходът се състои в следното: климатичните симулации за бъдещи периоди се сравняват със симулациите в историческия референтен период. Разликите в среднодневните стойности на температурата, валежите и оттока биват анализирани. Използваният модел валеж-отток за определяне на Q_{95} е моделът TUW, който е представен подробно в предишни етап на проекта. Проведени са симулации с модел валеж-отток в историческия период 1976-2005. Бъдещите периоди, за които е направено това моделиране, са 2013-2042 г., 2021-2050 г. и 2071-2100 г. Климатичните сценарии, за които е проведено изследването, са IPCC RCP4.5 и RCP8.5, като те са използвани за всеки един от горе споменатите периоди.

Отклоненията от ср.мн. стойности на Q_{95} , породени от климатична промяна са оценени като незначителни на фона на естественото колебание на същия параметър. Следователно районите, силно реактивни на климатични промени са особено застрашени от засушаване.

4.Индикатор IV. За целите на настоящата разработка се предлага четвърти индикатор, за установяване и оценка на недостига на вода в бъдещи периоди. Индикаторът се основава на относителното процентно изменение на консумацията на вода за питейно-битови нужди към процентното изменение на наличния ресурс пресни води.

При разработване на този индикатор е извършен демографски анализ на населението по административни области на базата на данни от НСИ за установяване на съществени тенденции в относителното изменение на населението в бъдещите периоди, за които е направено това моделиране, са 2013-2042 г., 2021-2050 г. и 2071-2100 г. Същите са съпоставени с резултатите от етап втори на настоящата разработка в частта анализ на относителното изменение на ср.мн. стойности на оттока. В процеса на тестване на индикатора беше установено, че дисбаланса между консумация и наличен ресурс е значително по-чувствителен към изменения в ср.мн. стойности на оттока, което наложи въвеждането на тежестен коефициент.

В

Таблица1 са представени индикаторите със съответните им степени и прагови стойности, установени към настоящия етап на разработката.



Таблица 1. Комбиниран критерий за оценка на засушаването и недостига, във връзка с очакваните климатични промени.

индикатори/стойност		9	6	3
Състояние	Индикатор I (IT) Тренд-анализ по В.Александров (настоящо състояние + тенденции)	район със значим риск от почвено- атмосфер но засушава не	район с умерен риск от почвено- атмосфер но засушава не	район със слаб риск от почвено- атмосфер но засушава не
	Индикатор II (IM) Модул на годишния отток (настоящо състояние)	под 2 (l/s.km ²)	2-5 (l/s.km ²)	5-10 (l/s.km ²)
Бъдещи въздействия	Индикатор III (IQ) <i>dChange Q95</i>	под -10%	-5 до - 10%	0 до-5%
	Индикатор IV (IN) $\frac{dChange (Pop * 120lpd)}{7.5 * dChange Qann_{av}}$	0 до 0.20	0.20 до 0.75	0.75 до 1.00

Комбинирани критерии за оценка на засушаването и недостига на вода, свързано с очакваните климатични промени:

За оценка на риска от засушаване и недостиг на вода за всеки разглеждан район, се основава на комплексна оценка на три индикатора – два, разглеждащи настоящето състояние на района (I и II); и трети, описващ очакваната бъдеща промяна на даден параметър (III или IV), съгласно формули 4.3.1 и 4.3.2. Всеки от участващите параметри има ясно дефинирани прагови стойности (показани в

Таблица.), които обуславят „оценка“ в контекста на комплексното им разглеждане (показана горе в таблицата). Окончателната стойност на критерия представлява сума от оценките на трите съставлящи го индикатора.

Оценка на засушаването



Трите описани по-горе Индикатори *I, II и III* са приложени заедно и в анализа е изведен **комбиниран критерий за оценка на засушаването, свързано с очакваните климатични промени, (DC)**, съгласно формула 4.3.1

$$DC= IT+IM+IQ \quad (4.3.2)$$

където:

IT – Оценка на *Индикатор I*, съгласно риска от атмосферно-почвено засушаване

IM – Оценка на *Индикатор II* съгласно модула на годишния отток

IQ – Оценка на *Индикатор III* съгласно процентното изменение на оттока, за прогнозирания период

Определени са окончателните прагове на риска от засушаване като комбинирана оценка от стойностите на отделните индикатори – Таблица 1.

Таблица 1. Комбиниран критерий за оценка на засушаването

3-9	Слаб риск от засушаване
9-18	Умерен риск от засушаване
18-27	Значим риск от засушаване

Недостиг на вода

Трите описани по-горе Индикатори *I, II и IV* са приложени заедно и в анализа е изведен **комбиниран критерий за оценка на недостига на вода свързан с очакваните климатични промени, (SC)** съчетаващ трите избрани индикатора, съгласно формула 4.3.2

$$SC= IT+IM+IN \quad (4.3.2)$$

където:

IT – Оценка на *Индикатор I*, съгласно риска от атмосферно-почвено засушаване

IM – Оценка на *Индикатор II* съгласно модула на годишния отток



IN - Оценка на *Индикатор IV* съгласно относителното процентно изменение на консумацията на вода за питейно-битови нужди към процентното изменение на наличния ресурс пресни води.

Определени са окончателните прагове на риска от недостиг на вода като комбинирана оценка от стойностите на отделните индикатори – Таблица 4.23

Таблица 4.23 Комбиниран критерий за оценка на недостига на вода

3-9	Слаб риск от недостиг на вода
9-18	Умерен риск от недостиг на вода
18-27	Значим риск от недостиг на вода

При актуализацията на натиска от изменение на климата, са допълнени потенциалните косвени влияния, които може да окаже този вид натиск, при повърхностните води:

- **По-малко разреждане на замърсители във водните течения през летните месеци.**

Към момента липсват подходящи динамични редове на данни за химични замърсители, които да позволят прогнозиране на бъдещи сценарии за влиянието на определени замърсители върху химичното състояние с течение на времето (т.е. нови замърсители, органични замърсители и др.). E-HYPE 3.1.1 е хидроложки модел, който прогнозира въздействията върху речния отток, температурите на водата, както и товарите на азот и фосфор на ниво водосбор, произтичащи от промени във валежите и температурите. Температурата на водата, заедно с общия азот (TN) и общия фосфор (TP) се използват като заместител на показатели за въздействието на климата. Резултатите от този хидроложки модел предвиждат за ДРБУ увеличение както на товарите на азот, така и на фосфор, и в двата оценени сценария за изменение на климата, съответно RCP2.6 и b. RCP8.5 (източник: Шведски институт по метеорология и хидрология).

В ДРБУ има риск от намалени годишни речни оттоци в изолирани поречия в централната, южната и северозападната част, като в останалата част на района вероятно ще се наблюдава известно увеличение и при двата сценария за изменение на климата. Летните валежи (и следователно оттока) в ДРБУ вероятно ще намалеят. Това намаляване на оттока ще ограничи ефекта на разреждане на химическите емисии, като по този начин ще увеличи техните концентрации.

- **Промени в използването на биогенни елементи и пестициди.**

Поради повишението на температурите в селскостопанските практики вероятно ще се използват по-високи нива на приложение на биогенни елементи и пестициди. Комбинираното въздействие от по-високи нива на прилагани биогенни елементи и пестициди и по-ниска степен на разреждане вероятно ще изостри проблема с концентрациите в околната среда, като следва да се отбележи, че най-големите култивирани площи са разположени в централната и югоизточна част на района. Това заключение съответства на оценката на показателите – като цяло повишени концентрации на азот и фосфор при всички сценарии на изменение на климата.

По-ниската степен на разреждане през летните месеци може също да доведе до повишени концентрации на други опасни замърсители, които се откриват в зауствания на отпадъчни води, като това може да усилва актуалните въздействия или да причини нови такива. Това би повлияло допълнително на ситуацията в и около София и югозападната част на Дунавски район. Също така би могло да започне да създава или допълнително да изостри проблеми с изпускането на отпадъчни води (отново поради липса на разреждане).

- **Повече наводнения, причиняващи преливане на канализацията и мобилизиране на замърсители.**

Интензивността на бурите вероятно ще се увеличи, което вероятно ще доведе до: увеличение на комбинираното преливане на канализацията (където съществува такава) във водни тела и на нивата на биогенни елементи във водата; по-висока степен на площна (повърхностна) ерозия, мобилизиране на седименти и замърсители във водните течения.

При предварителната оценка на риска от наводнения (ПОРН), като етап от актуализацията на План за управление на риска от наводнения (ПУРН) 2022-2027 г. в ДРБУ, отчетени и климатичните промени и тяхното влияние върху заплахата от екстремни явления – наводнения от различен тип. В допълнение към информацията за минали наводнения, поради влиянието на климатичните промени, хидроложките и геоморфоложки условия, инфраструктура, населени места и стопанска дейност, в ПОРН се анализират и места, в които досега не са настъпвали сериозни наводнения, но в бъдеще би могло да се очаква повишена заплахата от такива – т. нар. потенциални бъдещи наводнения.

При анализите в ПОРН, както и при определяне на район със значителен потенциален риск от наводнения (РЗПРН), се оценяват и дългосрочното развитие на територията и климатичните промени. Съществуват редица климатичните модели - глобални и регионални, прогнозиращи с различна степен на сигурност на промяната на екстремните стойности на валежите. В ПОРН са използвани данните по проект CORDEX (Coordinated Regional climate Downscaling Experiment) и по-конкретно подпроект MED-CORDEX - специално разработен за Средиземноморието от Националния център за метеорологични изследвания – Франция (CNRM, Meteo-France).

За всеки район е изготвен паспорт, в който има информация за код и наименование на РЗПРН, местоположение и обхват, картосхема, тип наводнения, оценка по категориите и подкатегиите риск, дългосрочно развитие на територията, влияние на климатичните промени и подробно описание на района. По-подробна информация е налична и публично



достъпна на интернет страницата на БДДР -www.bd-dunav.bg, в секция „Управление на водите“, подсекция „План за управление на риска от наводнения 2022-2027“².

- **Зачестели случаи на горски пожари.**

Очаква се по-топлите и сухи лета, в комбинация с по-голяма концентрация на лесно запалима растителност, като изкуствено залесени борови насаждения, да доведат до увеличаване на горските пожари. Те от своя страна могат да причинят пряка загуба на местообитание и замърсяване на повърхностните води с обгорени/овъглени материали.

- **Засилване на хидроморфогичните въздействия.**

По-топлите, по-дълги и сухи лета вероятно ще доведат до: по-голяма евапотранспирация при земеделските култури; и засилено търсене на вода и електроенергия в градовете за отдиш и охлаждане. Това от своя страна вероятно ще засили натиска от водовземане.

Съществува потенциал за повишен морфологичен натиск от: по-голяма степен на ерозия и увреждане на местообитанията в резултат на увеличени средногодишни стойности на речния отток и наводнения; и по-голяма необходимост от схеми за справяне с наводненията. Дейностите за справяне с наводненията и предотвратяване на ерозията следва да са разработени така, че например да включват природосъобразни решения, които биха ограничили увеличението на този вид натиск.

- **Натиск от инвазивни видове.**

Променящият се климат може да измени конкурентната среда между видовете, създавайки по-добри условия за някои видове (напр. инвазивни) за сметка на други (като местни). Изменението на климата вероятно ще усилва съществуващия натиск от инвазивни видове.

- **Изменение на водните екосистеми.**

Повишените температури, честотата и количеството екстремни валежи, както и по-дългите периоди на недостиг на вода, суши и наводнения се очаква да окажат значително въздействие върху речните и езерните екосистеми.

Повишаването на температурата на атмосферния въздух най-вероятно ще доведе до повишаване на температурата на водата, особено във водните тела от категория "езера". Ако това не е придружено от компенсаторно увеличаване на валежите, резултатът ще бъде ограничен отток от езерата и намален воден обем. Намалването на водното количество в някои езера може да причини временна или постоянна промяна в солеността на водата и да превърне цялата екосистема в солена водна среда.

² <https://www.bd-dunav.bg/content/upravlenie-na-vodite/plan-za-upravlenie-na-riska-ot-navodneniia-2022-2027/>



Ефектът от повишаването на температурите върху речните екосистеми ще се усети най-силно в малките поречия, които се подхранват от малък процент подземни води. Същевременно, повишената честота на наводненията може да има разрушително въздействие върху крайречните местообитания.

По-дългите периоди на суша от своя страна могат да доведат до допълнително повишаване на температурата на речната вода, намаляване на съдържанието на кислород във водата и изсушаване на крайречните местообитания. Повишаването на температурите и намаляването на количеството кислород може да има отрицателен ефект върху много водни животни, особено при тяхното размножаване, тъй като условията, при които се развиват яйцата и ларвите, ще се променят.

Изменението на климата се определя като съществена заплаха за вътрешните влажни зони. Те се характеризират с висока степен на чувствителност към всички видове въздействия от изменението на климата и са допълнително ограничени по площ, което ги прави особено уязвими. Променената хидрология и повишаването на температурите могат да видоизменят биогеохимията и функцията на една влажна зона до такава степен, че някои важни екосистемни услуги да се превърнат в "лоша" услуга. Това означава, че те вече няма да осигуряват пречистване на водата например, а успоредно с това могат да започнат процеси на разлагане и освобождаване на биогенни елементи в повърхностните води. Освен това, по-голяма степен на разлагане от производството на първична материя (фотосинтеза) може да доведе до изместване на тяхната функция, т.е. от средство за поглъщане да се превърнат в източник на въглерод.

Също така уязвимите към води и водните местообитания ще бъдат сериозно засегнати от промяната в режима на валежите и дебита на реките. Това вероятно ще окаже значително въздействие върху видовете животни и птици, които обитават или се хранят от реката.

