# Woda z chmury, czyli aplikacje hydrologiczne online

Istnienie wody na Ziemi wyróżnia naszą planetę spośród milionów innych. To woda warunkuje istnienie życia, przynajmniej w takiej formie, jaką nasza wyobraźnia jest w stanie ogarnąć. Poszukując życia we wszechświecie, ziemscy uczeni szukają wody po sąsiedzku, np. na Marsie oraz na planetach odległych od naszej o wiele lat świetlnych. Tylko w naszej galaktyce znaleźli ich już ponoć 226 (stan na sierpień 2017).

Woda na Ziemi, głównie pod postacią oceanów, pokrywa 71% jej powierzchni. Wody podziemne stanowią podstawowe źródło wody dla większości miast i wsi. A inne zaopatrują się w nią z rzek, których mamy tysiące, tyle że nie wszędzie i nie zawsze płynie nimi życiodajna woda. Mamy też wodę słodką zamrożoną w postaci dwóch kolosalnych lodowców – Antarktycznego zawierającego 80% i Grenlandzkiego zawierającego 18% zamarzniętej wody istniejącej na naszej planecie. Problemem jest powoli, lecz stale rosnąca temperatura lodowców i perspektywa ich stopniowego stopienia się. Jest jeszcze woda atmosferyczna, uzupełniana przez parowanie, przede wszystkim z oceanów i powracająca na ziemię w postaci opadów. Te zaś, gdy występują w nadmiarze, mogą powodować – i często powodują, – dewastujące ludzki dobytek, a niekiedy odbierające życie, powodzie. Trwając w ciągłym ruchu i przechodząc z jednej postaci w inne, wszystkie te wody stanowią część systemu hydrologicznego. GIS zajmuje się skutecznie wieloma zagadnieniami hydrologii. Mnóstwo z wciąż powstających, coraz to bardziej doskonałych aplikacji GIS, także hydrologicznych, przechowywanych jest w chmurze, skąd mogą być dostępne dla zainteresowanych osób i instytucji.

Możliwości przetworzenia ogromnych ilości danych, moc obliczeniowa niezbędna do szybkiego uzyskania wyników skomplikowanych kalkulacji przedstawianych w formie graficznej, np. na mapie lub wykresie, dostępność danych oraz wyników analiz dla wielu użytkowników jednocześnie, a także zwiększone bezpieczeństwo danych – są to niewątpliwe kolosalne zalety korzystania z usług organizacji, które oferują usługi chmurowe w postaci serwowania zarówno danych, jak i programów służących do analizy i graficznej prezentacji wyników, jak np. ArcGIS Online. Choć korzystanie z serwisów chmurowych nie jest bezpłatne, a w niektórych przypadkach może być kosztowne, to koszta takich usług są z reguły nieporównywalnie niższe niż rozwinięcie potencjału serwowania danych i ich analizy przez naszą instytucję, tak jak np. taniej jest kupić buty lub telefon komórkowy, niż samemu je od podstaw wyprodukować.

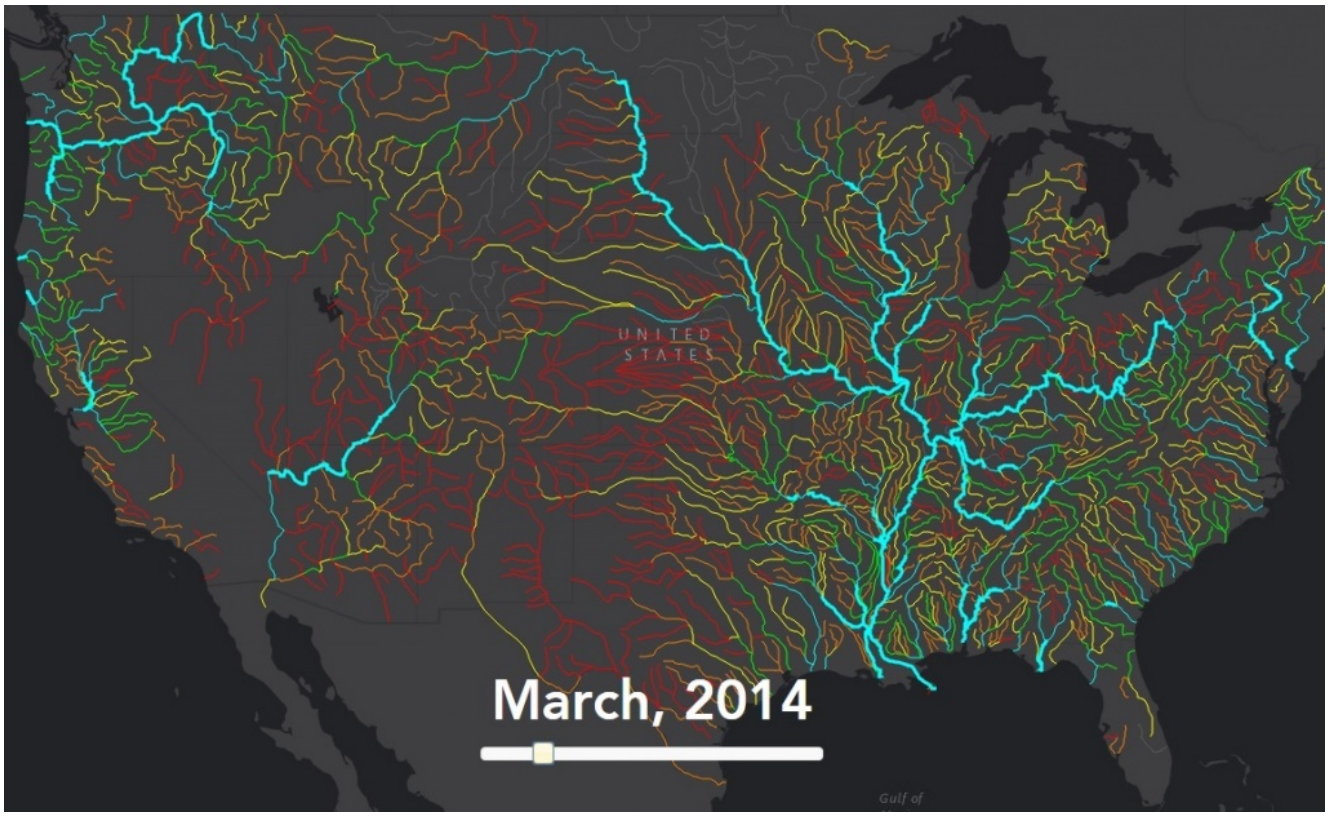
Aplikacje hydrologiczne najczęściej pokazują zjawisko w formie uśrednionej, np. średni e przepływy w rzekach z minionej dekady, bądź z trzydziestolecia. Mogą to być także np. uśrednione z wielolecia wielkości opadów atmosferycznych dla poszczególnych miesięcy lub pór roku. Czasem autorzy opracowania mają do dyspozycji jedynie dane opisujące liczbowo zjawisko hydrologiczne jakie zaistniało w określonym czasie, np. zasięgi zalanych przez powodzie terenów z choćby bardzo niedawnej, ale przeszłości. W ostatnich latach obserwujemy powstające coraz powszechniej sieci pomiarowe, np. stanów wód oraz przepływów w rzekach, przekazujące dane w czasie rzeczywistym z ponad 11 tysięcy stacji hydrologicznych rozsianych wzdłuż sieci rzecznej tzw. kontynentalnej części Stanów Zjednoczonych (bez Alaski i Hawajów). Dane te trafiają nie tylko do centrali zajmującej się gospodarką wodną, czy reagowaniem na zagrożenia powodziowe, ale są powszechnie dostępne w Internecie.

Ta „natychmiastowa” dostępność danych niesie ze sobą zauważalne niedogodności – urządzenia pomiarowe wciąż nie są niezawodne, czasem dodatkowo ulegają uszkodzeniom lub

dewastacji, a w efekcie zamiast przekazywać dokładne dane przesyłają dane zawyżone, lub wartości „0”, które czasem trudno jest odróżnić od autentycznie zerowego przepływu – wiele rzek w USA okresowo całkowicie wysycha lub całkowicie zamarza. Pozbycie się tego rodzaju przekłamań może wymagać ingerencji człowieka, a to oznacza opóźnienie w opublikowaniu danych, które w takiej sytuacji przestają zasługiwać na miano danych w czasie rzeczywistym. Pełne „oczyszczenie” danych z wartości nieprzystających jest mozolne i może być długotrwałe. Jednakże nawet dane hydrologiczne publikowane „natychmiast” bez jakiegokolwiek czyszczenia, pokazują sytuację na amerykańskich rzekach sprzed około 1-2 godzin, choćby dlatego, że serwery odświeżają dane co godzinę. Tym niemniej, nawet jeśli sieć monitorująca amerykańskie rzeki nie jest doskonała, to i tak świetnie spełnia swoje zadanie. Dane z niej pochodzące są wykorzystywane przez wiele agencji rządowych i przez lokalne samorządy, a także organizacje prywatne. Jedni dbają o zabezpieczenia przeciwpowodziowe dla dróg i mostów, inni pilnują, aby niski poziom przepływów w rzekach nie zagrażał życiu ryb, a jeszcze inni nadzorują stan czystości wód rzecznych. Pomiary i pozyskiwanie danych pomiarowych przez instytucje federalne czy stanowe jest finansowane z podatków. Dane te są w USA dostępne bezpłatnie dla każdej organizacji i każdego obywatela.

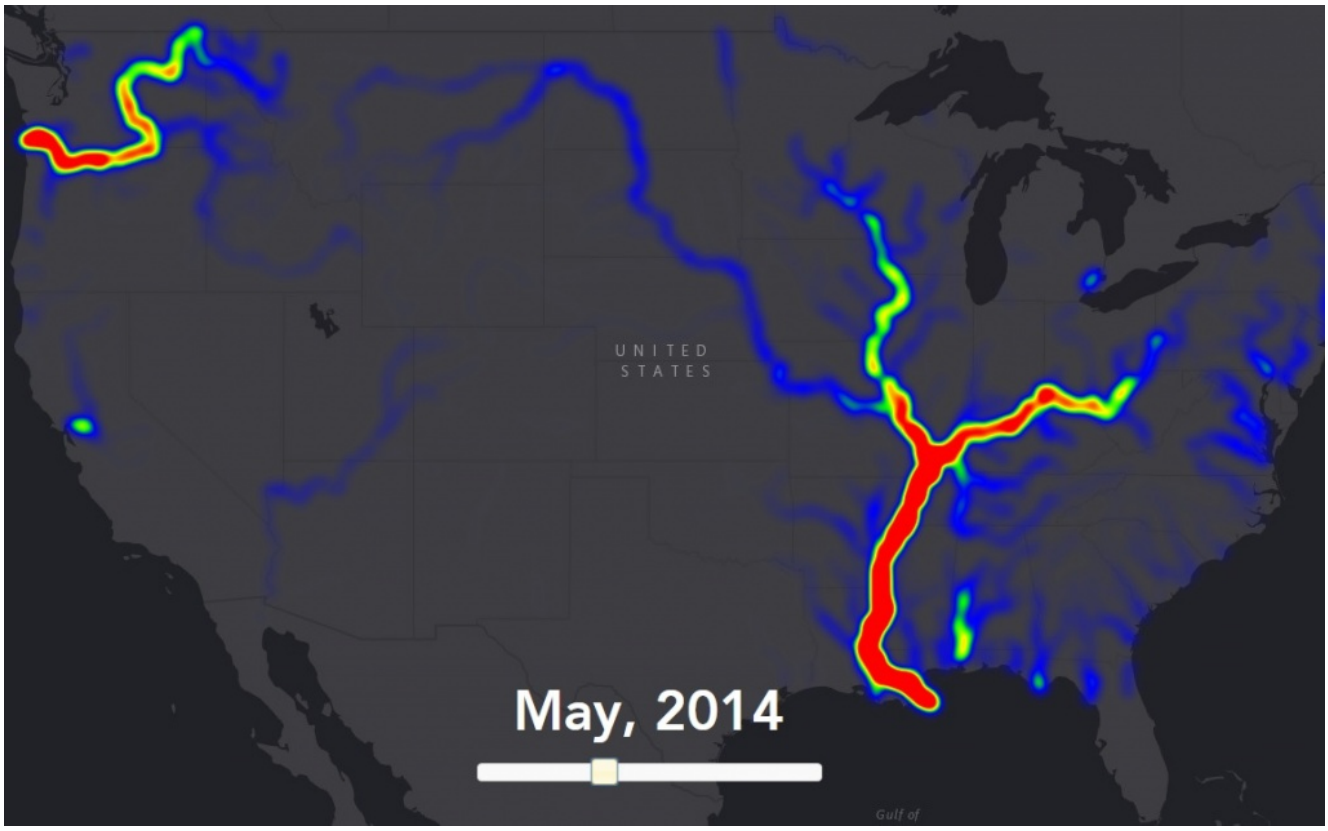
Poniżej kilka przykładów aplikacji dostępnych online, a stworzonych i serwowanych z zastosowaniem technologii Esri.

**Hydro Static Maps** – zestaw map sieci rzecznej 48 kontynentalnych stanów USA ilustrujących średnie przepływy w rzekach w poszczególnych miesiącach 2014 roku, oraz odniesienie przepływów w poszczególnych miesiącach 2014 roku do średniej wieloletniej dla tych miesięcy. Dostępna jest także mapa pokazująca hierarchiczny system klasyfikacji cieków rzecznych wg. klasyfikacji Strahler’a.

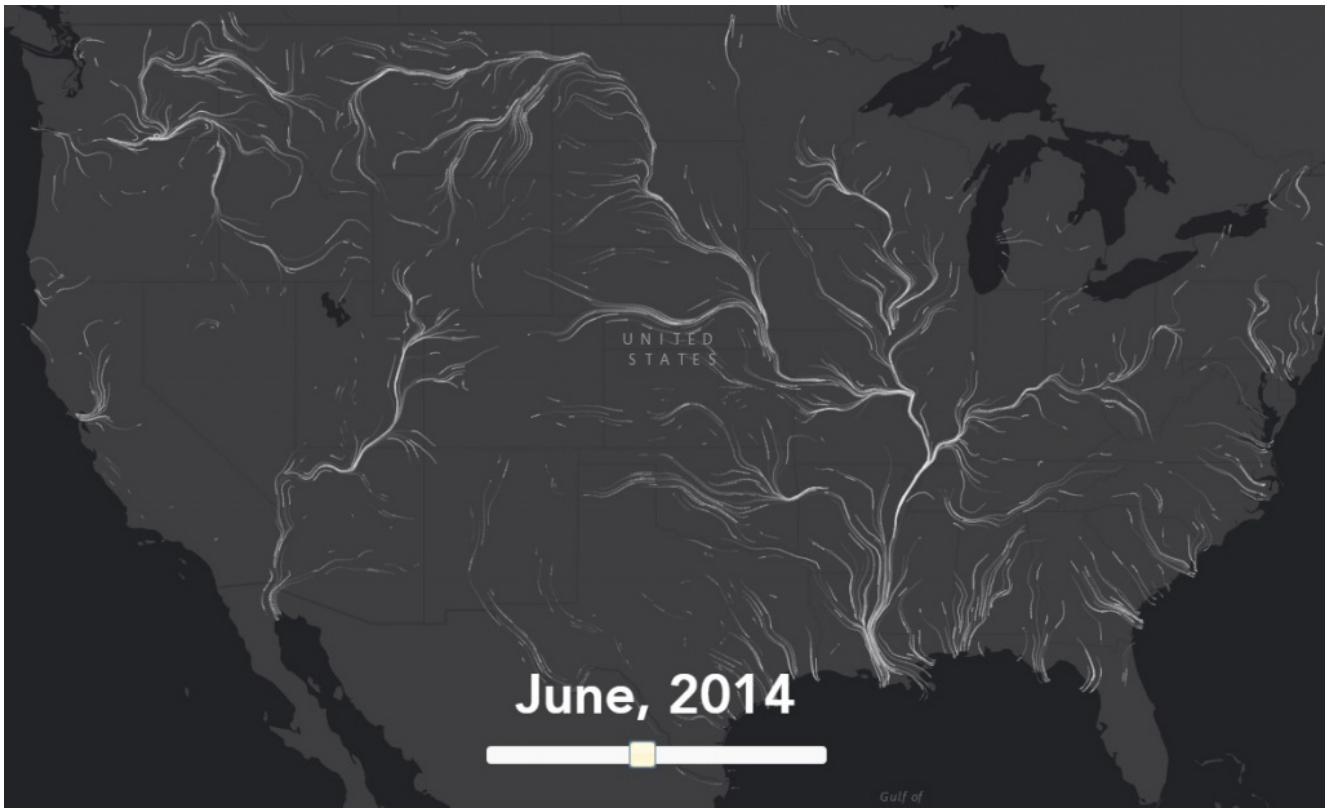



**Hydro Heat Maps** – seria map sieci rzecznej Stanów Zjednoczonych uwypuklających rzeki o największym przepływie osobno dla każdego z miesięcy 2014 roku. Przegląd map pozwala zaobserwować zmienność przepływów w rocznym cyklu hydrologicznym. I tak np. w styczniu i lutym wiele rzek na północy USA całkowicie zamarza. Topnienie śniegów w Górach Skalistych i przy granicy z Kanadą następuje w marcu i kwietniu, co w maju powoduje rekordowe przepływy w dorzeczach rzek Mississippi i Columbia. Na jesieni , na końcu roku hydrologicznego, przepływy w olbrzymiej większości rzek wyraźnie maleją. Jednakże choć intensywność przepływu w głównych rzekach zmienia się, to „królowa" amerykańskich rzek, Missisippi, przez cały rok jest największa. Te i inne zjawiska hydrologiczne łatwo jest zaobserwować oglądając „heat maps", czyli mapy wyraźnie akcentujące obszary o najwyższych (lub najniższych) wartościach atrybutów. Na poniższej mapie dolne biegi rzek Mississippi oraz Columbia zostały wyeksponowan kolorem czerwonym, gdyż w danym okresie na tych odcinkach rzek przepływy były ekstremalne. Rzeki o mniejszych niż średnie w całej sieci rzecznej przepływach na „heat map" nie zostały w

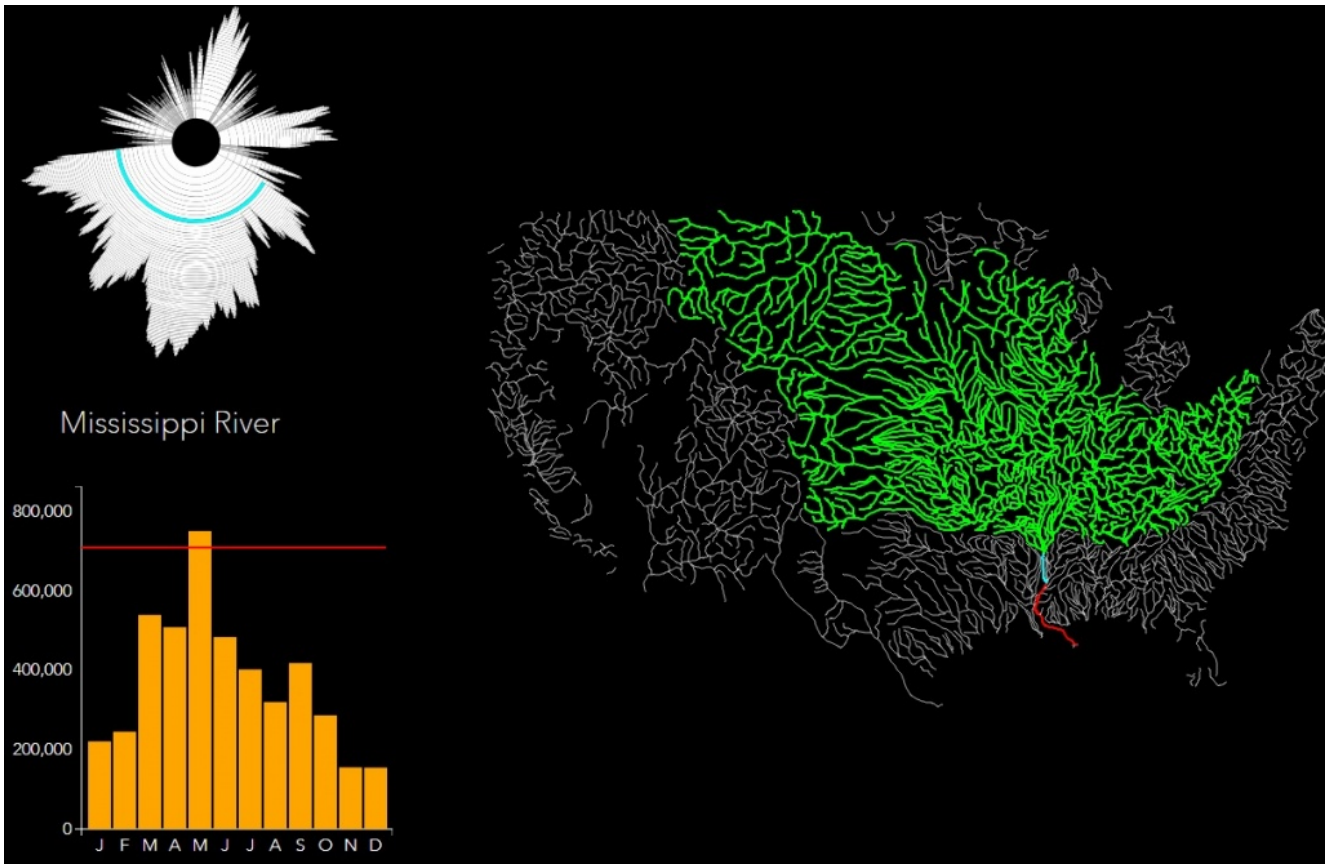
ogóle pokazane.



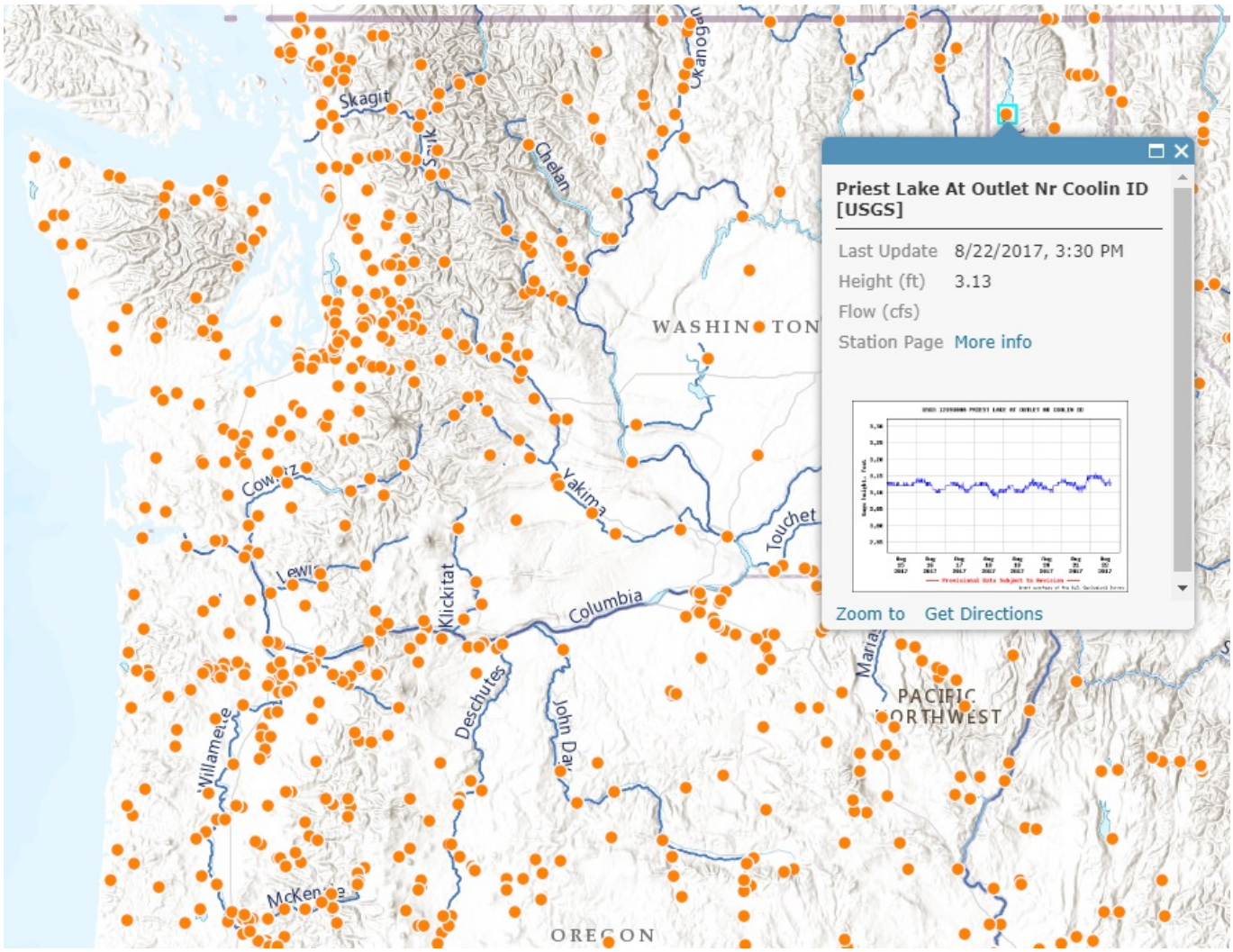

**Hydro Flow Maps** – 12 map reprezentujących poszczególne miesiące roku pokazujących w sugestywny sposób kierunki płynięcia rzek. W zależności od wybranej przez użytkownika skali oglądanej mapy, pojawia się stosowna do skali ilość „dynamicznych strumieni”.




**Hydro Hierarchy Map** – interaktywna mapa sieci rzecznej USA sprzężona z wykresem pokazującym w formie histogramu średnie przepływy miesięczne dla przekroju dowolnie wybranego na mapie fragmentu sieci rzecznej. Drugi graf, przypominający różę wiatrów, powiązany jest zarówno z mapą, jak i z wykresem średnich miesięcznych przepływów. Wskazując na grafie kolejno koncentryczne fragmenty okręgów wybieramy jednocześnie odpowiadające im części sieci rzecznej, dla odcinków której oglądamy także wykres przepływów miesięcznych.

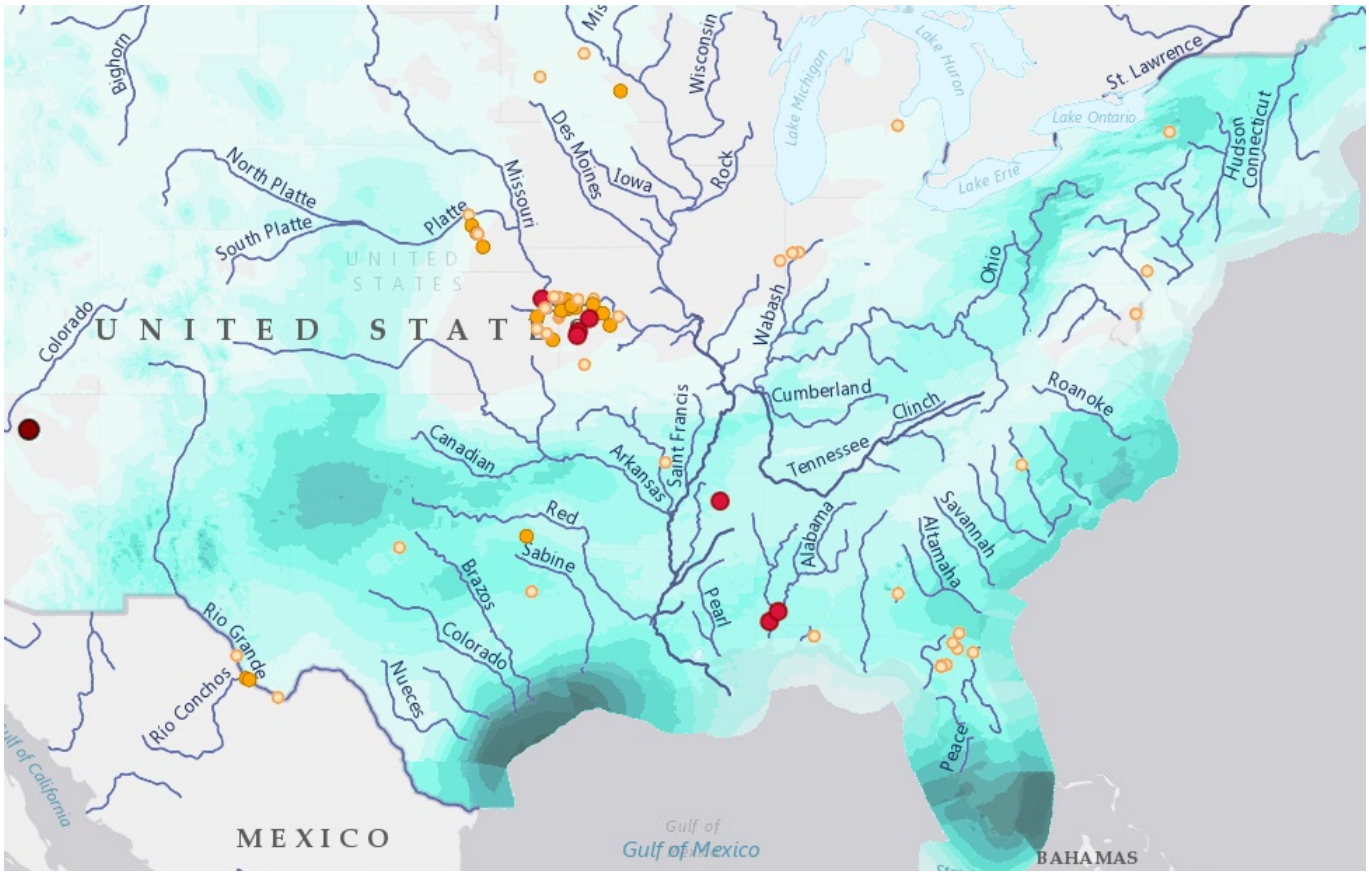



**Stream Gauges** (wymaga zalogowania się do ArcGIS Online) – mapa pokazująca rozmieszczenie ponad 11,000 hydrologicznych stacji pomiarowych wzdłuż sieci rzecznej. Kliknięcie każdego z punktów przywołuje okienko z parametrami hydrologicznymi oraz wykresem zmienności stanów wody, lub/oraz przepływu za miniony tydzień. Dodatkowo wyszczególniona jest nazwa instytucji odpowiedzialnej za wybraną stację hydrologiczną.

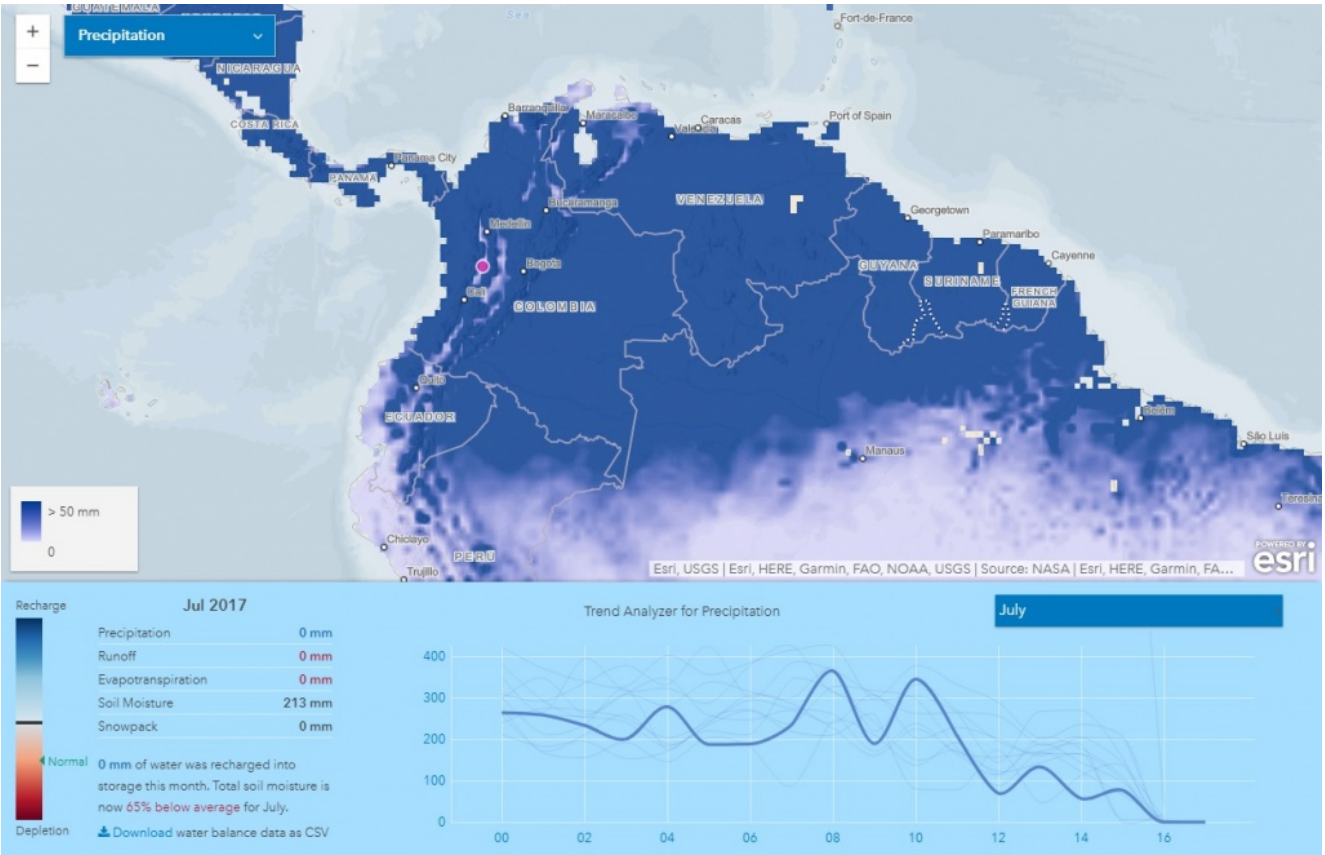



**The National Water Forecast** – dla każdego fragmentu sieci rzecznej może zostać przedstawiona dziesięciodniowa prognoza przepływu w przedziale czasu, poczynając od dnia bieżącego. W opracowaniu prognozy uwzględniana jest prognoza opadów atmosferycznych oraz istniejący, dynamiczny stan wód w sieci rzecznej powyżej wybranego punktu.

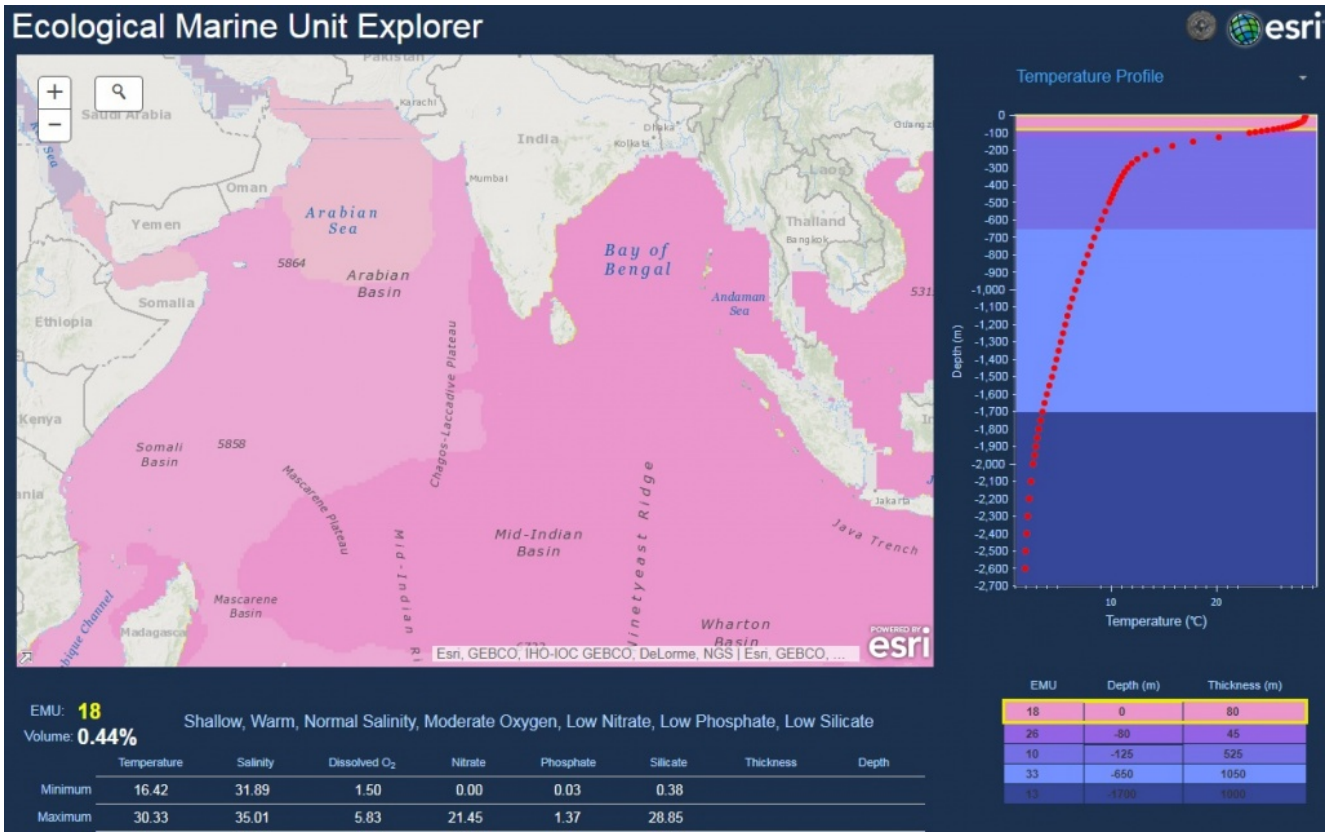
**USA Flood Map** (wymaga zalogowania się do ArcGIS Online) – mapa prognozy rozmieszczenia i intensywności opadów atmosferycznych na najbliższe 72 godziny. W oparciu o tę prognozę przewiduje się zagrożenia powodziowe. Skalę przewidywanej powodzi dla miejsc zagrożonych zalaniem przedstawia się na prognozowanym wykresie stanów oraz przepływów wód (krzywe przepływu).



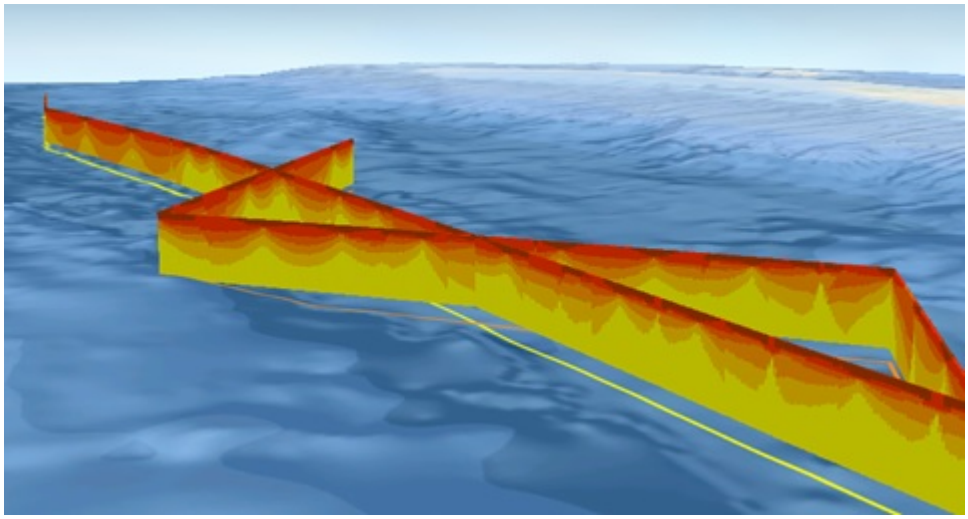

**Water Balance of the World**. Mapy świata pokazujące wilgotność gleby, grubość pokrywy śnieżnej, wielkość opadów, intensywności ewapotranspiracji oraz odpływu. Kliknięcie dowolnego punktu na lądzie powoduje wyświetlenie liczbowych wartości dla wymienionych 5 parametrów hydrologicznych dla tego punktu, jak również tekstowe i graficzne odniesienie do średnich dla danego miesiąca. Zestawienie graficzne wartości każdego z dostępnych 5 parametrów hydrologicznych dla wybranego miesiąca, pokazuje trend i zmienność danego zjawiska od roku 2000 do roku obecnego.



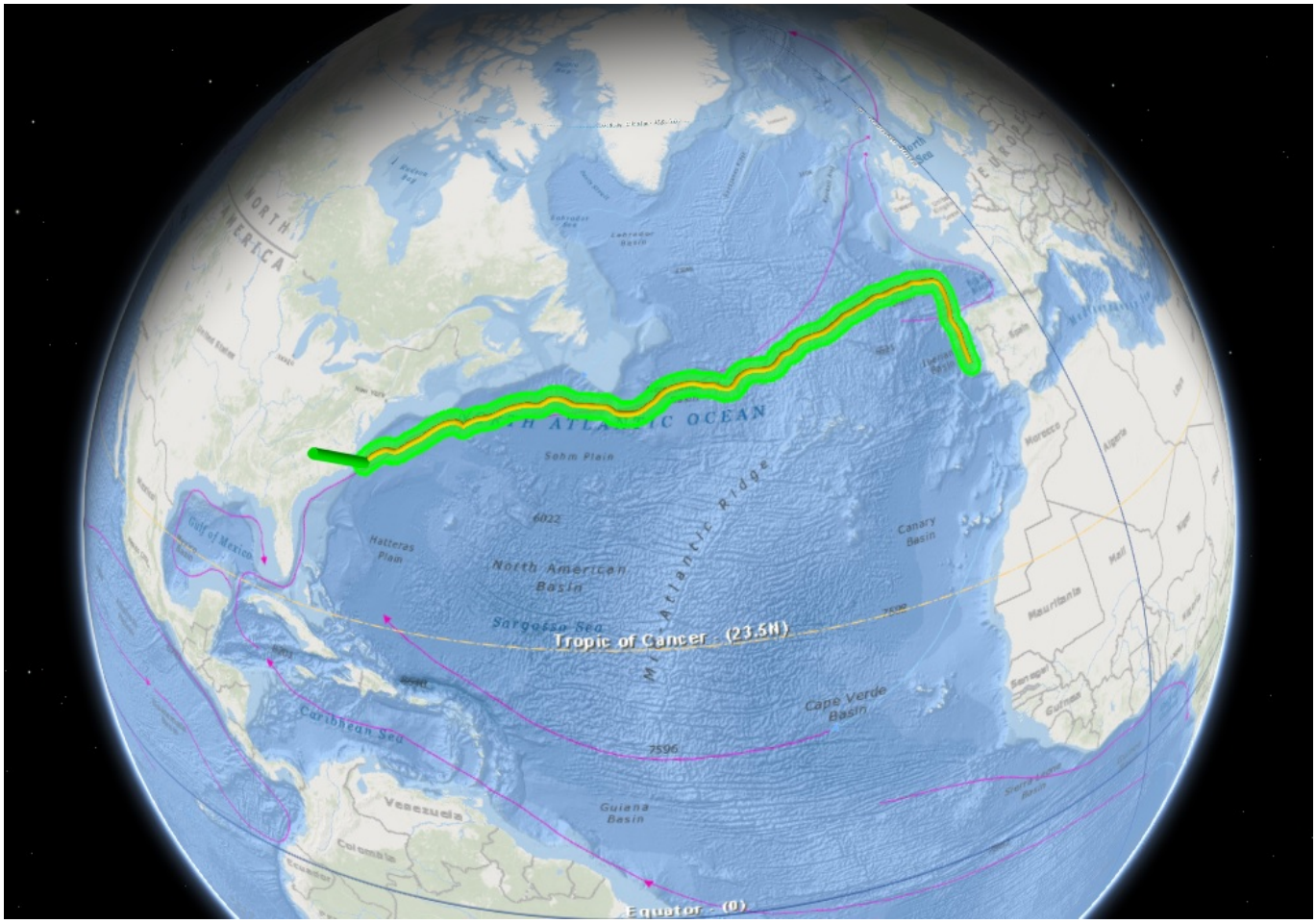

**Ecological Marine Units (EMU) in Living Atlas**. Aplikacja EMU Explorer (Badacz/Poszukiwacz Morskich Ekosystemów Ekologicznych) zapoznaje nas z rozkładem przestrzennym ponad 20 charakterystyk numerycznych i opisowych oceanu światowego w każdym jego punkcie, nie tylko na powierzchni, ale i w oceanicznej głębi. Po kliknięciu dowolnego punktu oceanu wybrane parametry EMU przedstawione są w formie tabelarycznej poniżej mapy głównej, a zmienność wybranego interaktywnie parametru wody oceanicznej wraz z głębokością – na wykresie obok mapy. Celem inicjatywy EMU było wyszczególnienie odrębnych ekosystemów na całym przestworzu oceanu w oparciu o pomiary fizyczne, chemiczne i biologiczne. Aktualnie wyodrębniono i opisano 37 takich ekosystemów. Wiele spośród nich występuje w kilku odseparowanych od siebie terytorialnie miejscach.




**EMU 3D Fences Animation** – animacja ilustruje, w jaki sposób spośród wszystkich punktów pomiarowych wybiera się te, które posłużą do wykonania interpolacji geostatystycznej i do wygenerowania pionowego przekroju przez dane 3D. Tak wygenerowany przekrój często nazywany jest „płotem”, lub „murem”. Ponieważ płot składa się z geometrycznej matrycy punktów, które można uznać za „cegiełki”, z których każda zawiera informację atrybutową, ich wartości można zróżnicować graficznie.



**Message in a bottle**. Czy to zakorkowana butelka z romantycznym listem, czy też wyciek ropy naftowej z uszkodzonego tankowca – aplikacja wskaże, dokąd podąży obiekt niesiony morskimi prądami. Oprócz wskazania punktu początkowego przewidywana trasa uzależniona jest od wybranej ilości dni morskiej wędrówki, oraz terminu jej rozpoczęcia. Ponieważ prądy morskie zmieniają się stopniowo, cyklicznie, zgodnie z porami roku, nie tylko miejsce, ale i dzień rozpoczęcia wędrówki może mieć kolosalny wpływ na to, dokąd dotrze dryfujący obiekt.  Po interaktywnym wybraniu miejsca startu, dnia rozpoczęcia wędrówki oraz liczby dni dryfowania z prądem, aplikacja rysuje prawdopodobną trasę przesuwania się obiektu po powierzchni oceanu.




Powyższe przykłady opracowanych i dostępnych wdrożeń pozwalają na baczne obserwowanie oraz szczegółowe analizowanie tego, co dzieje się z wodą na Ziemi, w tym na jej powierzchni, pod ziemią, oraz w atmosferze.  Dynamicznie zmieniające się zasoby

wody na Ziemi wpływają na nasze codzienne życie. Prognozowane zmiany klimatu wpływać będą na życie wielu milionów, jeśli nie wszystkich ludzi. Jak przewidzieć kierunki zmian krótko- i długoterminowoych i co zrobić, aby zminimalizować ewentualne szkody, jakie mogą w efekcie tych zmian nastąpić? Tu GIS może przyjść nam z pomocą. I tak np. dysponując prognozą zbliżających się gwałtownych opadów burzowych (tytułowa woda z chmury) z pomocą narzędzi GIS potrafimy obliczyć wielkość i fluktuacje fali powodziowej zarówno w poszczególnych miejscach zlewni, jak i pokazać, jak ta fala w każdym z tych miejsc zmieniać się będzie w czasie (time-series). Informacje te mogą być bardzo użyteczne w zapobieganiu zagrożeniom powodziowym. Określenie ile worków z piaskiem będzie niezbędnych do powstrzymania powodzi w krytycznych punktach może uratować wiele domów przed zalaniem. Może też wskazać, ile wody należy wypuścić ze zbiornika retencyjnego przed nadejściem fali powodziowej, aby zbiornik ten był w stanie zaabsorbować kuluminacyjne przepływy fali powodziowej i ograniczyć straty w zlewni poniżej.

Podobnie jest z prognozami długoterminowymi. Narzędzia i metody GIS są szeroko stosowane do prognozowania przewidywanych zmian klimatycznych na Ziemi. Możliwości GIS można by jeszcze szerzej wykorzystać. Moglibyśmy np. określić, nie tylko kiedy wyginą niedźwiedzie polarne wokół Oceanu Arktycznego, ale i przewidzieć, gdzie jeszcze w Kanadzie za 50 lat będzie można uprawiać pszenicę, oraz gdzie i za ile lat w Polsce będzie można rozwinąć na skalę przemysłową uprawę winnej latorośli? A w celach prywatnych może warto by wiedzieć, gdzie, czy w której części Polski, dobrze by było nabyć kawałek ziemi? Może by się dało jaką winnicę założyć i dzieciom zostawić? Ci którzy powątpiewają w globalne ocieplenie, mogą zainwestować w uprawę jodeł na choinki.