

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΣΥΛΑΙΟΣ

ΜΑΘΗΜΑ 3^ο

Ο Κύκλος του Αζώτου στα Υδατικά Συστήματα

Η κύρια πηγή όλων των μορφών αζώτου είναι το στοιχειακό άζωτο (N_2) (78% στην ατμόσφαιρα).

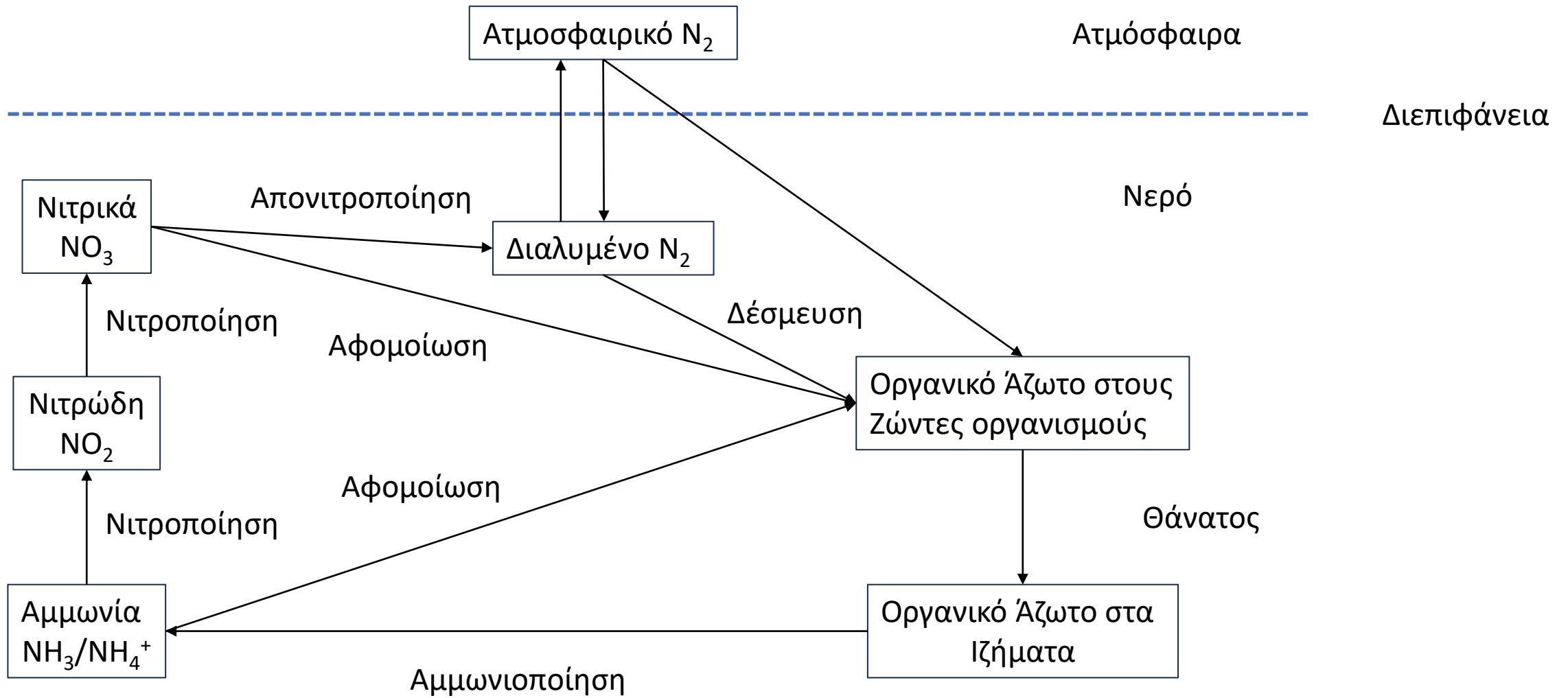
Οι διαδοχικές διεργασίες μετασχηματισμού ενώσεων αζώτου όπως ο μετασχηματισμός του οργανικού αζώτου σε αμμωνία, μετά σε νιτρώδη και τέλος σε νιτρικά αποτελούν τον **Κύκλο του Αζώτου** στα υδατικά συστήματα.

Ο Κύκλος Αζώτου είναι σημαντικός για την αξιολόγηση της ποιότητας ενός υδατικού συστήματος.

Κάθε διαδικασία μετασχηματισμού του αζώτου ως συνάρτηση του χρόνου γράφεται:

$$\frac{dN_i}{dt} = -k_{N,i} N_i \pm N'$$

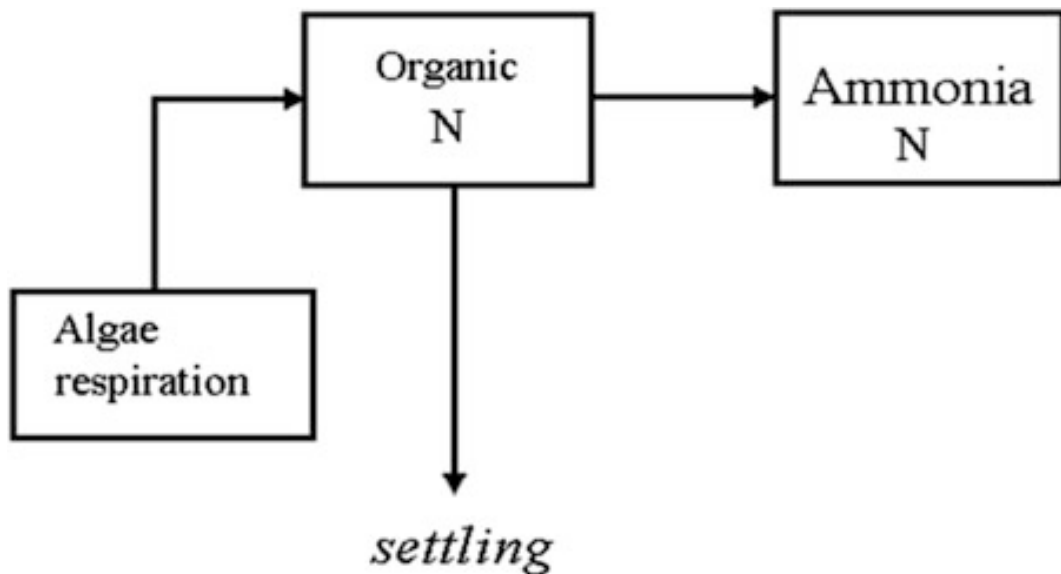
Όπου N_i είναι οι συγκεντρώσεις των διαφόρων μορφών αζώτου (mg/l), $k_{N,i}$ είναι οι συντελεστές μετασχηματισμού της i -μορφής αζώτου (day^{-1}), N' η εισροή ή η απομάκρυνση αζώτου λόγω άλλων διεργασιών (mg/(l day))



Κύριες διεργασίες μετασχηματισμού αζώτου στα υδατικά συστήματα

1. Δέσμευση αζώτου από την ατμόσφαιρα
2. Νιτροποίηση
3. Αφομοίωση αζώτου από οργανισμούς
4. Απονιτροποίηση
5. Αμμωνιοποίηση
6. Διαφυγή αμμωνίας στην ατμόσφαιρα

Διεργασίες Παραγωγής και Κατανάλωσης Οργανικού Αζώτου



$$\frac{dN_{org}}{dt} = a_A \rho A - k_{N,org} N_{org} - k_{settl} N_{org}$$

Υψηλοί ρυθμοί μετασχηματισμού συμβαίνουν σε συστήματα με χαμηλές ταχύτητες και υψηλή παρουσία βακτηριδίων.

1. Το οργανικό άζωτο εκλύεται από τους υδρόβιους οργανισμούς κατά την αναπνοή τους.
2. Κατόπιν μετατρέπεται εν μέρει σε αμμωνιακό άζωτο και εν μέρει κατακάθεται στον πυθμένα.

Όπου A είναι η συγκέντρωση της άλγης (mg/l),
 a_A είναι το τμήμα της βιομάζας άλγης που συμβάλει στην έκλυση οργανικού αζώτου μέσω της αναπνοής (κυμαίνεται μεταξύ 0.07 έως 0.09 mg N ανά mg άλγης),
 ρ είναι ο ρυθμός έκλυσης οργανικού αζώτου λόγω αναπνοής (day^{-1}),
 $k_{N,org}$ είναι ο ρυθμός μετασχηματισμού του οργανικού αζώτου σε αμμωνία (day^{-1}), μεταξύ 0.02 έως 0.4 day^{-1} ,
 $k_{N,settl}$ είναι ο ρυθμός ιζηματοποίησης οργανικού αζώτου (day^{-1}), μεταξύ 0.001 και 0.1 day^{-1} ,
 N_{org} η συγκέντρωση οργανικού αζώτου (mg/l).

Κώδικας για τον Υπολογισμό της Συγκέντρωσης Οργανικού Αζώτου

```
install.packages("deSolve")
library(deSolve)

## time sequence
time <- seq(from=0, to=10, by = 0.01)
# parameters: a named vector
parameters <- c(alpha = 0.09, rho = 0.5,
                K_N_org = 0.1, K_N_sett = 0.5,
                Algae = 2.0)

# initial conditions: also a named vector
state <- c(x = 0.5)

#write a function
OrgNitrogen <- function(t, state, parameters){
  with(as.list(c(state, parameters)),{
    dx <- alpha*rho*Algae-K_N_org*x-K_N_sett*x
    return(list(dx))
  }
)}
```

```
# Now call the R function 'ode', to perform the integration
# the basic arguments of 'ode' are
# y: the vector of initial conditions
# times: the vector with the time sequence
# func: the R function as described above
# parms: vector of parameters
```

```
out <- ode(y = state,
           times = time,
           func = OrgNitrogen,
           parms = parameters)
```

Αρχική Συνθήκη

Χρονική Περίοδος

Συνάρτηση που περιέχει τις διαφορικές εξισώσεις

Σταθερές των εξισώσεων

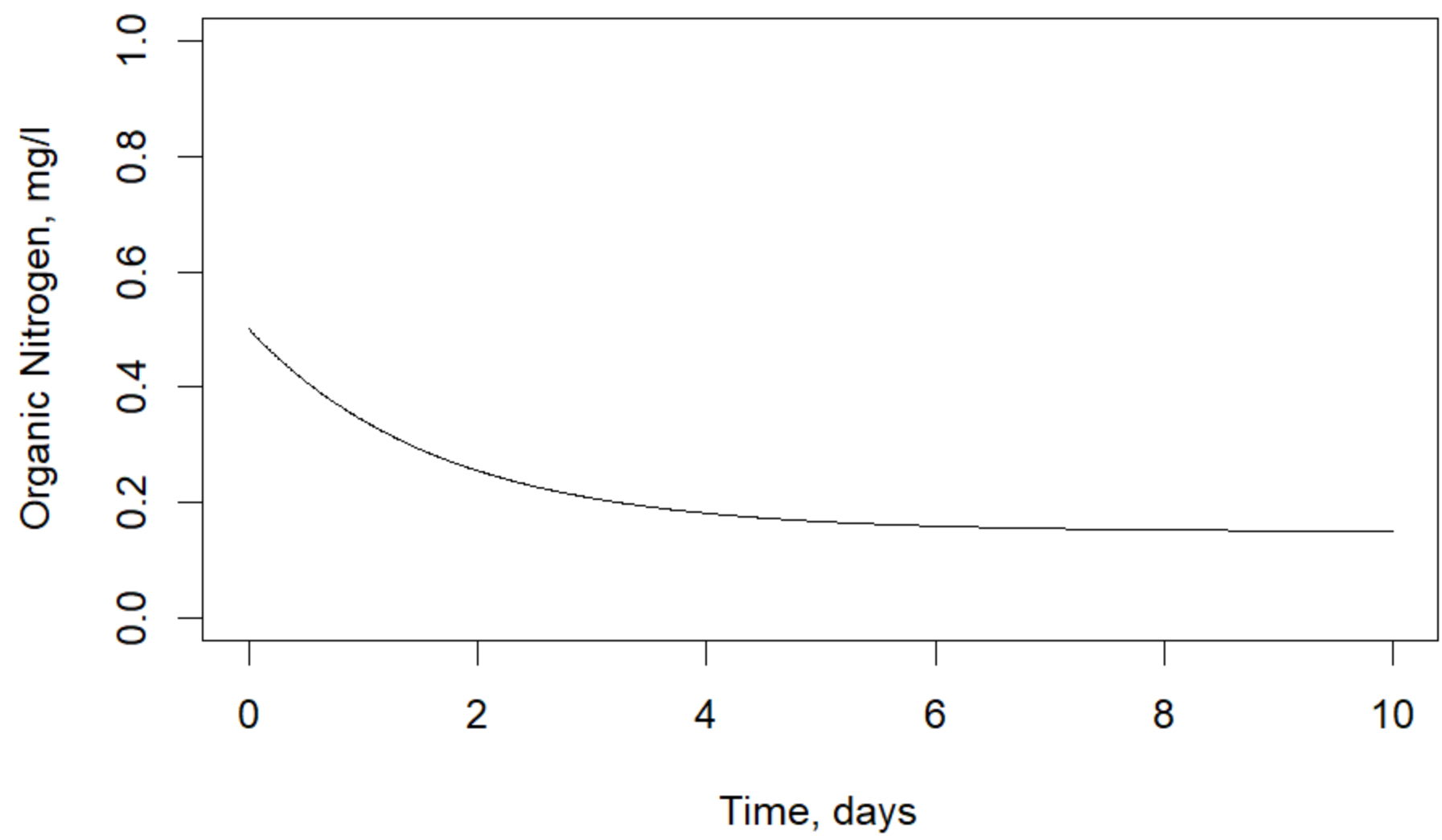
```
# the resulting object has the values of the integration
# at each time point in the vector of times
```

```
print(head(out)) # first 6 lines
```

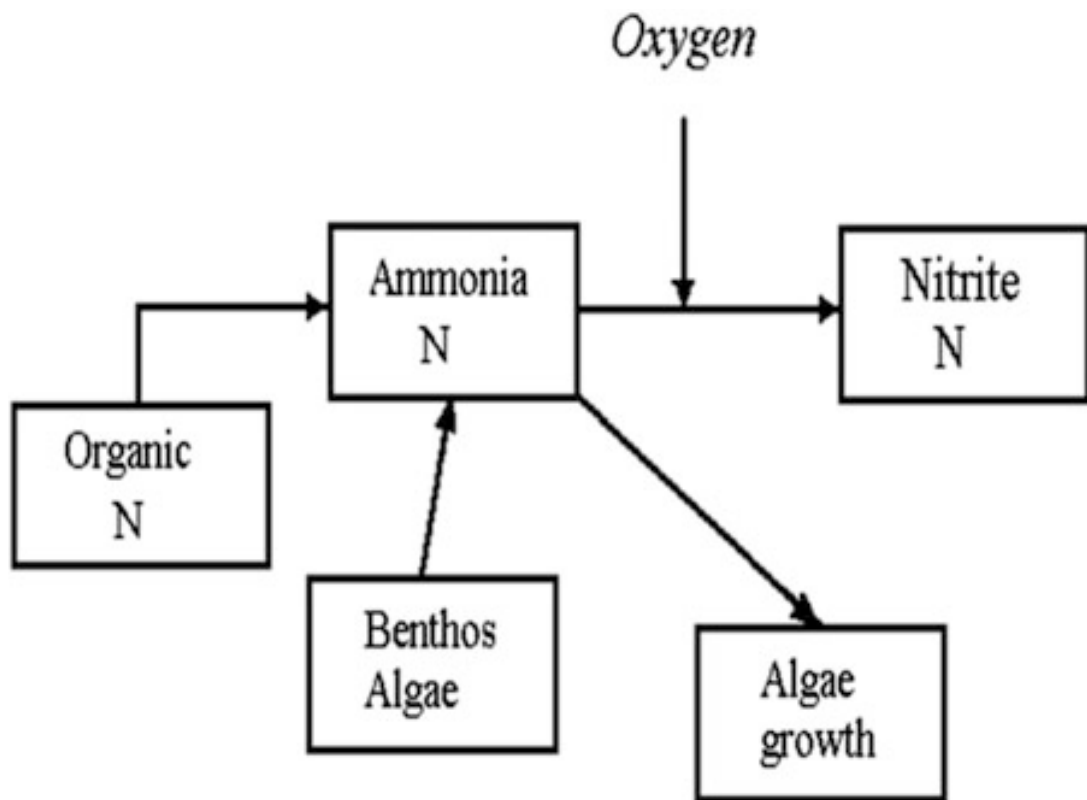
```
summary(out) #get summary statistics
```

```
plot(out, ylab = «Ammonia Nitrogen, mg/l", xlab = "Time, days",
      ylim = c(0,1))
```

x



Διεργασίες Παραγωγής και Κατανάλωσης Αμμωνιακού Αζώτου



- Όπως φαίνεται στο διπλανό σχήμα, η ποσότητα της αμμωνίας:
1. Αυξάνεται στο υδατικό σύστημα λόγω του μετασχηματισμού του οργανικού αζώτου, και
 2. Αυξάνεται λόγω της ποσότητας που απελευθερώνεται από τους οργανισμούς που υπάρχουν στον πυθμένα του ποταμού (το βένθος).
 3. Μειώνεται λόγω της αφομοίωσης της από τους υδρόβιους οργανισμούς
 4. Λόγω της νιτροποίησης και της μετατροπής της σε νιτρώδη άλατα (παρουσία οξυγόνου).

$$\frac{dN_{amm}}{dt} = K_{N,org} N_{org} - K_{N,amm} N_{amm}$$

Όπου N_{amm} η συγκέντρωση της αμμωνίας/αμμωνιακών αλάτων (mg/l), N_{org} η συγκέντρωση οργανικού αζώτου (mg/l), $K_{N,amm}$ ο ρυθμός μετασχηματισμού της αμμωνίας σε νιτρώδη λόγω οξείδωσης (day^{-1}) μεταξύ 0.10 και $1.00 day^{-1}$, $K_{N,org}$ ο ρυθμός μετασχηματισμού του οργανικού υλικού σε αμμωνία (day^{-1}).

```
install.packages("deSolve")
library(deSolve)

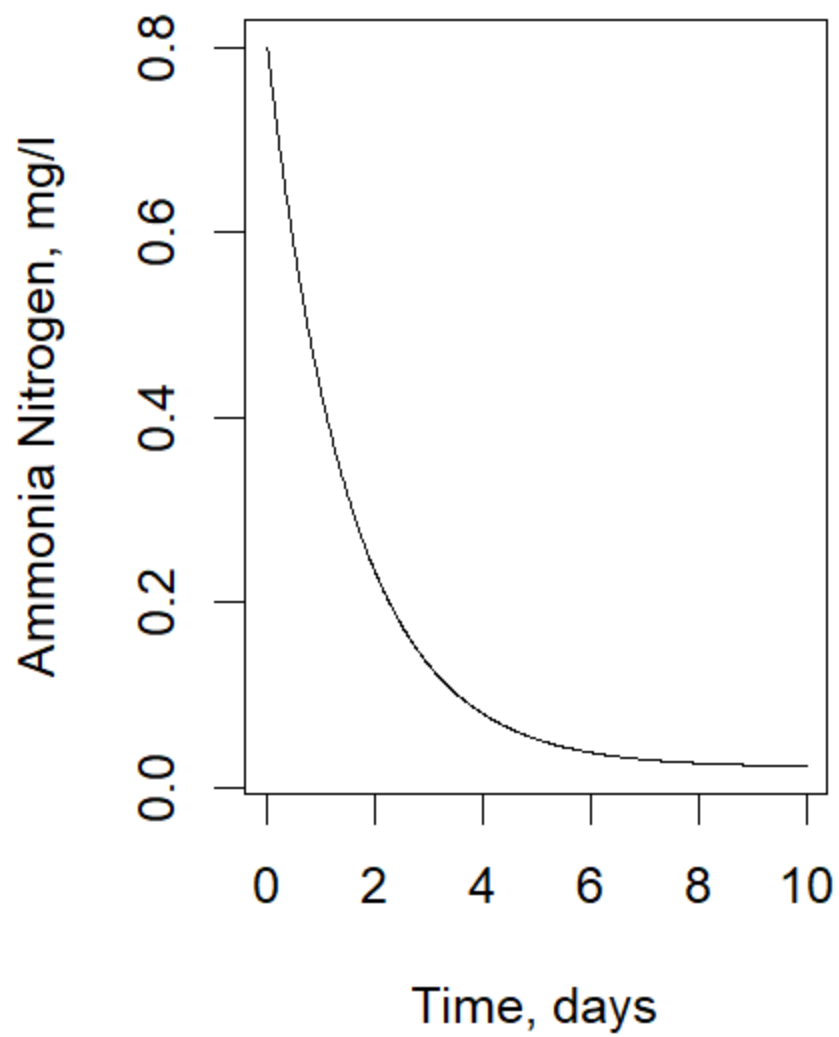
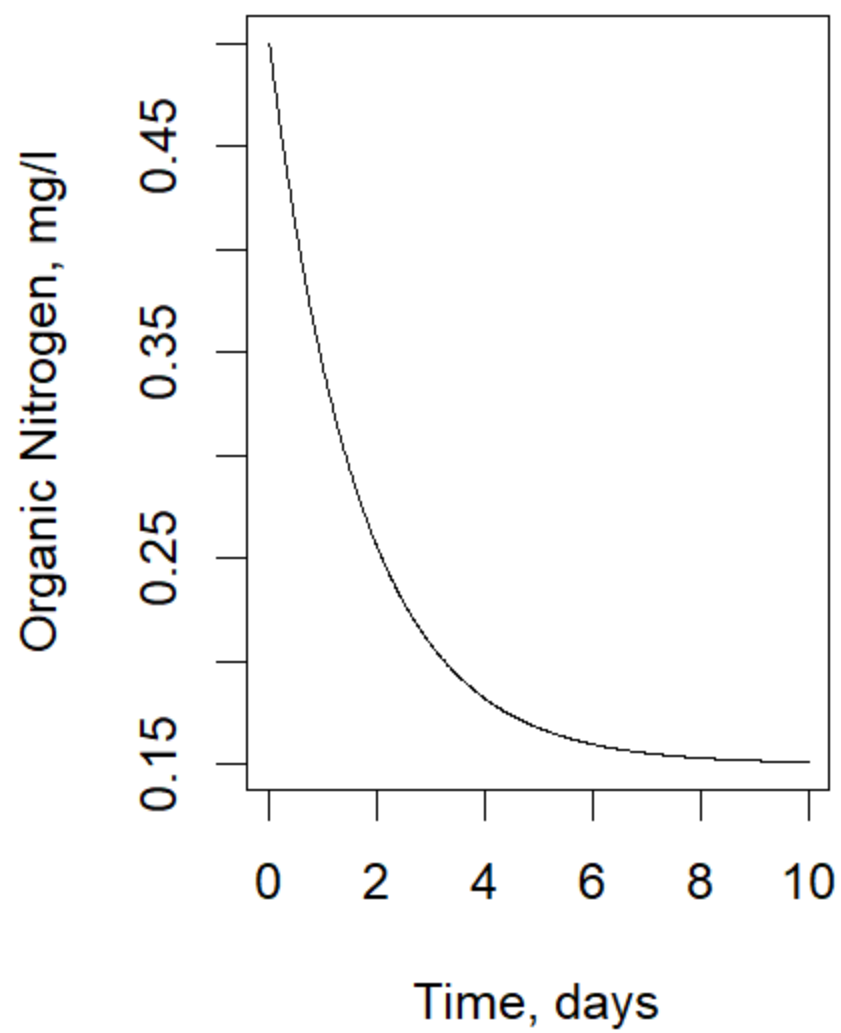
## time sequence
time <- seq(from=0, to=10, by = 0.01)

# parameters: a named vector
parameters <- c(alpha = 0.09, rho = 0.5,
                K_N_org = 0.1, K_N_sett = 0.5,
                K_N_amm = 0.7, Algae = 2.0)

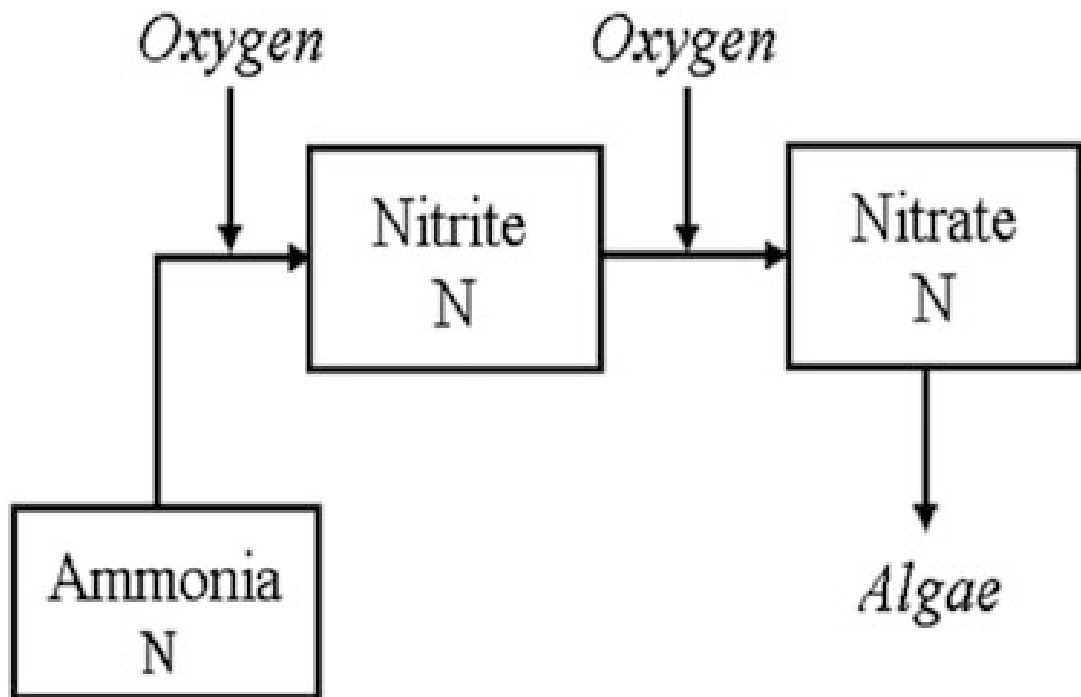
# initial conditions: also a named vector
state <- c(x1 = 0.5, x2 = 0.8)

Nitrogen <- function(t, state, parameters){
  with(
    as.list(c(state, parameters)),{
      dx1 <- alpha*rho*Algae - K_N_org*x1 - K_N_sett*x1
      dx2 <- K_N_org*x1 - K_N_amm*x2
    }
  )
  return(list(c(dx1, dx2)))
}
```

```
out <- ode(y = state, times = time,  
          func = Nitrogen, parms = parameters)  
  
# the resulting object has the values of the integration  
# at each time point in the vector of times  
  
# print the first 6 lines  
print(head(out))  
  
summary(out)  
  
par(mfrow=c(1,2))  
plot(out[,1], out[,2], type = "l", ylab = "Organic Nitrogen, mg/l", xlab = "Time, days")  
plot(out[,1], out[,3], type = "l", ylab = "Ammonia Nitrogen, mg/l", xlab = "Time, days")
```



Διεργασίες Παραγωγής και Κατανάλωσης Αζώτου Νιτρωδών



Όπως φαίνεται στο διπλανό σχήμα, η μεταβολή του αζώτου των νιτρωδών οφείλεται:

1. Αύξηση συγκέντρωσης λόγω οξείδωση της αμμωνίας σε νιτρώδη (νιτροποίηση),
2. Μείωση συγκέντρωσης λόγω περαιτέρω οξείδωση νιτρωδών σε νιτρικά άλατα (νιτροποίηση) τα οποία αφομοιώνονται από τους υδρόβιους οργανισμούς όπως η άλγη.

$$\frac{dN_{nitri}}{dt} = K_{N,amm} N_{amm} - K_{N,nitri} N_{nitri}$$

Όπου N_{amm} η συγκέντρωση της αμμωνίας/αμμωνιακών αλάτων (mg/l), N_{nitri} η συγκέντρωση νιτρωδών αλάτων (mg/l), $K_{N,amm}$ ο ρυθμός μετασχηματισμού της αμμωνίας σε νιτρώδη λόγω οξείδωσης (day^{-1}) μεταξύ 0.10 και 1.00 day^{-1} , $K_{N,nitri}$ ο ρυθμός μετασχηματισμού των νιτρωδών σε νιτρικά άλατα, με τιμές μεταξύ 0.2 και $2.0 \text{ (day}^{-1}\text{)}$.

```
install.packages("deSolve")
library(deSolve)

## time sequence
time <- seq(from=0, to=10, by = 0.01)
# parameters: a named vector
parameters <- c(alpha = 0.09, rho = 0.5,
                K_N_org = 0.1, K_N_sett = 0.5,
                K_N_amm = 0.7, K_N_nitri = 1.3,
                Algae = 2.0)

# initial conditions: also a named vector
state <- c(x1 = 0.5, x2 = 0.8, x3 = 1.2)

Nitrogen <- function(t, state, parameters){
  with(
    as.list(c(state, parameters)),{
      dx1 <- alpha*rho*Algae - K_N_org*x1 - K_N_sett*x1
      dx2 <- K_N_org*x1 - K_N_amm*x2
      dx3 <- K_N_amm*x2 - K_N_nitri*x3
      return(list(c(dx1, dx2, dx3)))}
  )
}
```

```
# Now call the R function 'ode', to perform the integration# the basic arguments of 'ode' are# y: the vector of initial conditions# times: the vector with the time sequence# func: the R function as described above# parms: vector of parameters
```

```
out <- ode(y = state, times = time,  
          func = Nitrogen, parms = parameters)
```

```
# the resulting object has the values of the integration# at each time point in the vector of times
```

```
print(head(out)) # prints the first 6 lines
```

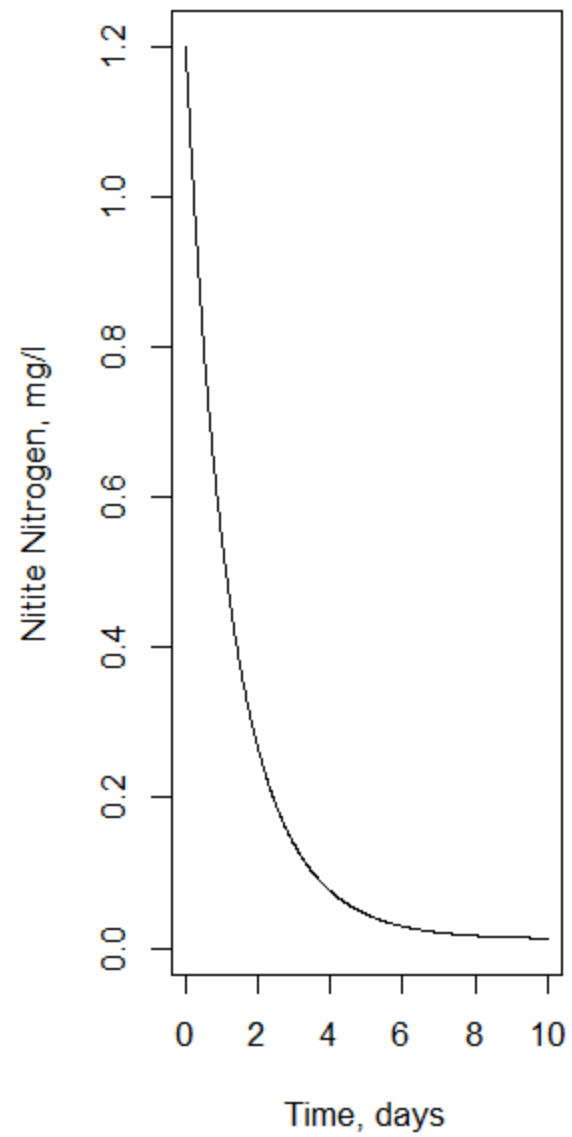
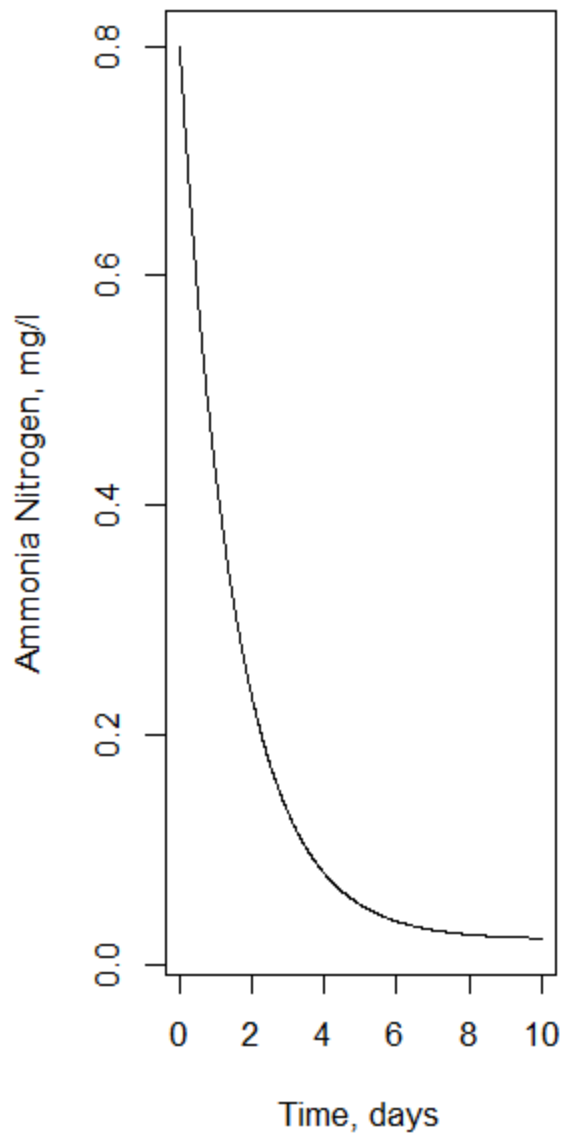
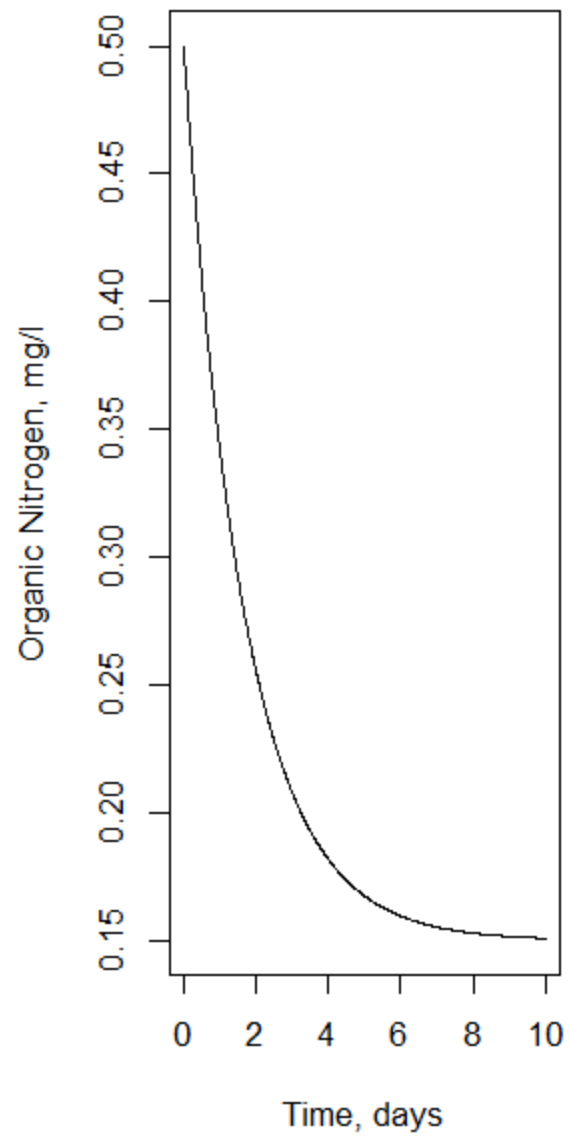
```
summary(out)
```

```
par(mfrow=c(1,3))
```

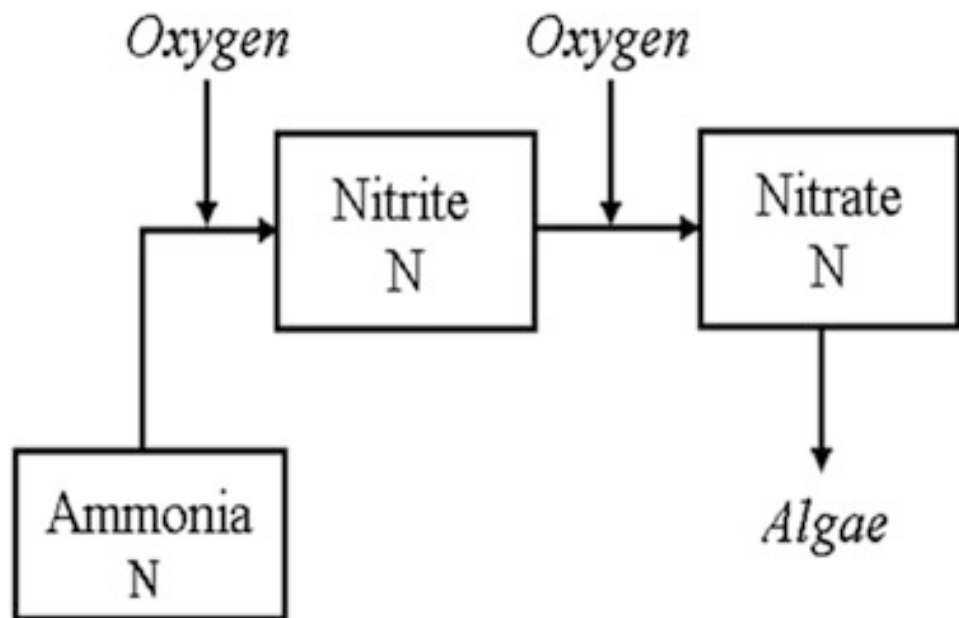
```
plot(out[,1], out[,2], type = "l", ylab = "Organic Nitrogen, mg/l", xlab = "Time, days")
```

```
plot(out[,1], out[,3], type = "l", ylab = "Ammonia Nitrogen, mg/l", xlab = "Time, days")
```

```
plot(out[,1], out[,4], type = "l", ylab = "Nitrite Nitrogen, mg/l", xlab = "Time, days")
```



Διεργασίες Παραγωγής και Κατανάλωσης Αζώτου Νιτρικών



Ισχύει το προηγούμενο διάγραμμα που δείχνει ότι η συγκέντρωση του αζώτου των νιτρικών αλάτων μεταβάλλεται ως εξής:

1. Αύξηση συγκέντρωσης λόγω οξείδωση των νιτρωδών (νιτροποίηση),
2. Μείωση συγκέντρωσης λόγω αφομοίωσης νιτρικών από την άλγη.

$$\frac{dN_{nitra}}{dt} = K_{N,nitri} N_{nitri} - \zeta \mu A$$

Όπου N_{nitri} η συγκέντρωση νιτρωδών αλάτων (mg/l), $K_{N,nitri}$ ο ρυθμός μετασχηματισμού των νιτρωδών σε νιτρικά άλατα, με τιμές μεταξύ 0.2 και 2.0 (day^{-1}), ζ είναι το τμήμα της βιομάζας πλαγκτόν που αποτελείται από το άζωτο και κυμαίνεται μεταξύ 0.01 και 0.1 mg N ανά mg άλγης.

```
install.packages("deSolve")
library(deSolve)

## time sequence
time <- seq(from=0, to=10, by = 0.01)

# parameters: a named vector
parameters <- c(alpha = 0.09, rho = 0.5,
                K_N_org = 0.1, K_N_sett = 0.5,
                K_N_amm = 0.7, K_N_nitri = 1.3,
                zita = 0.01, mi = 1.0, Algae = 2.0)

# initial conditions: also a named vector
state <- c(x1 = 0.5, x2 = 0.8, x3 = 1.2, x4 = 1.5)
```

```

Nitrogen <- function(t, state, parameters){
  with(
    as.list(c(state, parameters)),{
      dx1 <- alpha*rho*Algae - K_N_org*x1 - K_N_sett*x1
      dx2 <- K_N_org*x1 - K_N_amm*x2
      dx3 <- K_N_amm*x2 - K_N_nitri*x3
      dx4 <- K_N_nitri*x3 - zita*mi*Algae

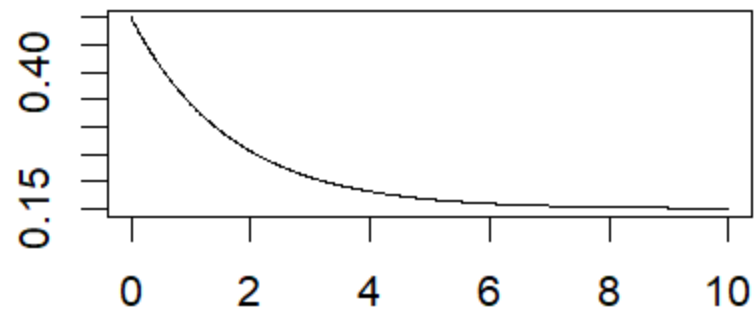
      return(list(c(dx1, dx2, dx3, dx4)))
    }
  )
}

out <- ode(y = state, times = time,
          func = Nitrogen, parms = parameters)

print(head(out)) # print the first 6 lines
summary(out)
par(mfrow=c(2,2))
plot(out[,1], out[,2], type = "l", ylab = "Organic Nitrogen, mg/l", xlab = "Time, days")
plot(out[,1], out[,3], type = "l", ylab = "Ammonia Nitrogen, mg/l", xlab = "Time, days")
plot(out[,1], out[,4], type = "l", ylab = "Nitrite Nitrogen, mg/l", xlab = "Time, days")
plot(out[,1], out[,5], type = "l", ylab = "Nitrate Nitrogen, mg/l", xlab = "Time, days")

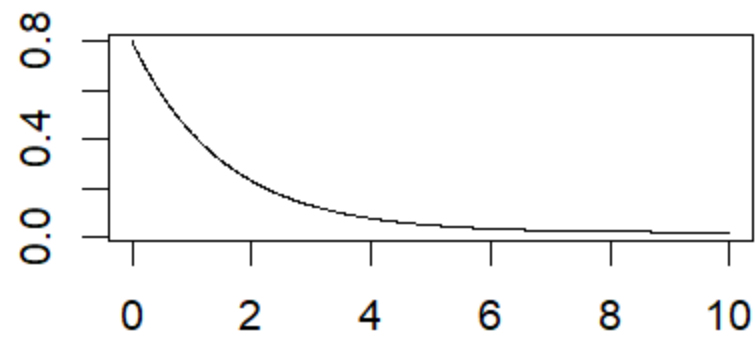
```

Organic Nitrogen, mg/l



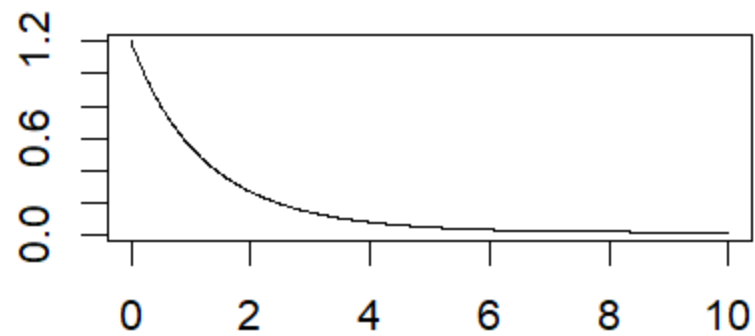
Time, days

Ammonia Nitrogen, mg/l



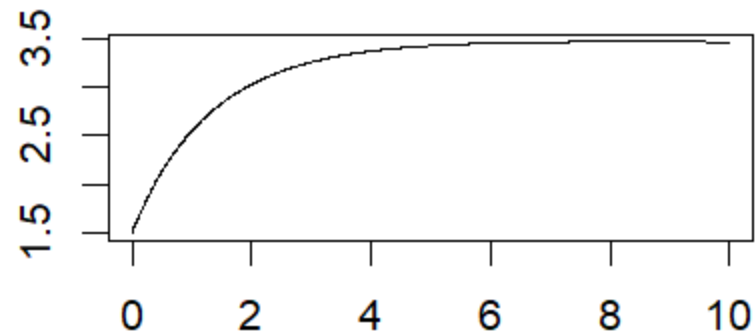
Time, days

Nitrite Nitrogen, mg/l



Time, days

Nitrate Nitrogen, mg/l



Time, days