

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ БАКТЕРИОПЛАНКТОНА НА ОРГАНИЧЕСКИХ ПОЧВЕННЫХ ЭКСТРАКТАХ БЕРЕГОВ КРАСНОЯРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Дегерменджи Н.Н.

Красноярский государственный медицинский университет
ул. Партизана Железняка, 1, г. Красноярск, 660022, РФ; e-mail: nn1947@yandex.ru
Поступила в редакцию: 13.07.2021

Аннотация. Экологическое прогнозирование динамики микроорганизмов и качества воды в Красноярском водохранилище основано на знании зависимости удельной скорости роста (УСР) от лимитирующих субстратов. Объектом исследования является влияние почвенного экстракта материала береговых обрушений – перманганатной окисляемости – ХПК (химическое потребление кислорода) на рост автохтонного бактериопланктона Красноярского водохранилища. Определяется максимальная УСР и константа Михаэлиса-Ментена. Данные параметры использовались в экомодели Красноярского водохранилища для оценки эффективности самоочищения.

Ключевые слова: почвенный экстракт, бактериопланктон, кинетика роста, прогноз.

ВВЕДЕНИЕ

Красноярское водохранилище представляет собой глубокий слабопроточный водоем с преимущественно сезонно-контролируемым протоком. В разнообразном использовании водохранилища преобладает гидроэнергетика. Площадь водного зеркала составляет 2000 кв. км., объем – 73.3 куб. км., длина – около 390 км, средняя ширина – 5-6 км, наибольшая ширина – 15 км, средняя глубина – 27 м, максимальная глубина – 105 м. Среднегодовой расход у напорного трубопровода плотины – 80-90 куб. км/год. Одной из отличительных характеристик водохранилища является значительная переменность уровня водной поверхности – от 234 до 225 м, т.е. диапазон составляет 18 м. Возраст водохранилища – около 50 лет. Гидробиология водохранилища характеризуется интенсивным “цветением” сине-зеленых водорослей, достигающим до 1,4-3,3 г/куб. м сухого веса. (*Aphanizomenon flos-aquae*, *Melosira granulata* (0,34 г/куб. м) и *Fragilaria crotonensis* (0,31 г/куб. м)).

Микроорганизмы играют основную роль в круговороте углерода, азота, фосфора и серы, а также в минерализации и самоочищении, как в естественных, так и в искусственных аквасистемах [1]. Полное описание микробиологического блока водных экосистем должно основываться не только на стехиометрии элементного цикла, но также на кинетических характеристиках процессов и их зависимости от условий среды во время эксперимента. Введение экспериментальных кинетических характеристик в математические прогнозные модели представляет собой новый прогрессивный путь и должно способствовать повышению адекватности теории при прогнозировании состояния экосистемы. Основные трудности возникают при выборе субстрата для экспериментов по кинетическим характеристикам. Общепринятое применение добавок органических веществ, таких как углеводороды, органические кислоты, пептон и т.д. – всего лишь модели природных компонентов субстратов. Анализ источников некоторых органических веществ в Красноярском водохранилище показал, что основным компонентом является процесс деструкции прибрежной зоны. Количество отложений при деструкции прибрежной полосы при прогнозе на десятилетний период составляет около 40% общего баланса, однако с завершением строительства Саянского моря (вверх по течению) оно поднимется до 73%. Разрушение лесных почв, чернозема способствует поступлению гумуса и других органических соединений в Красноярское водохранилище. Все это приводит к необходимости исследования УСР бактериопланктона (Б) на почвенных экстрактах материалов разрушения береговой полосы и его поглощение.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Почвенных экстракт культуральной среды для культивирования Б приготавливался из почв различных горизонтов, разрушающихся в районе водной станции Сыдинского залива. Микробиологические взятие образцов с целью культивации было проведено на той же водной станции в стерильных условиях на глубине 20 см от поверхности с одновременной фильтрацией фито- и зоопланктона.

Почвенные экстракты приготавливались по методу Фишера [2]: 1кг почвы плюс 1 литр 0,1% водного раствора Na_2CO_3 , естественная экстракция в течение 24 часов со встряхиванием, центрифугированием и стерилизацией автоклавированием. Химическая потребность в кислороде (ХПК) чистого желтого почвенного экстракта составляла 140 мг ХПК/л. Изменение начальной концентрации органического вещества во время экспериментов по выращиванию Б осуществлялось перемешиванием различных пропорций экспериментального объема Б и объема экстракта: в контроле (с) – 200 мл экспериментального и 0 мл экстракта, 1 – 20 и 180; 2 – 60 и 140; 3 – 100 и 100; 4 – 140 и 60; 5 – 180 и 20. Колбы помещались в термостат при температуре 20⁰ С. Общая численность Б определялась прямым счетом на ядерных фильтрах под люминесцентным микроскопом; в конце эксперимента измерялась остаточная концентрация ХПК в супернатанте в каждой колбе.

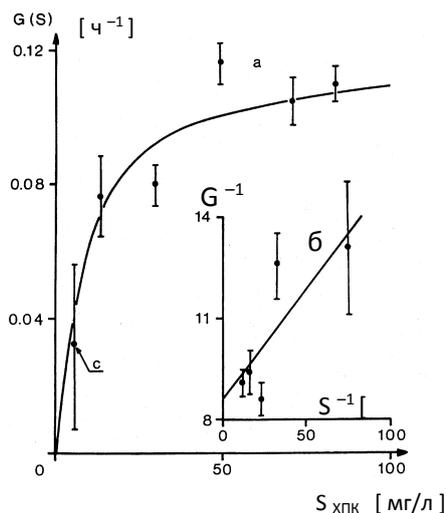


Рисунок 1. График зависимости УСР (G) бактериопланктона от ХПК концентрации почвенных экстрактов (S_{хпк}) из материалов обрушений берегов Красноярского водохранилища: а – прямые координаты; б – обратные координаты; с – опыт, не использовавшийся при расчетах μ_{max} и K_s

РЕЗУЛЬТАТЫ ПО КИНЕТИКЕ РОСТА

Из динамики величины X ([X]=кл/мл) Б во время экспериментов (с, 1-5) рассчитывалась УСР: $G(S_{хпк}) = \ln(X_2/X_1)/(t_2-t_1)$, где S_{хпк} – средняя концентрация ХПК в течение экспериментального периода t1, t2. По этим данным (рис. 1) была рассчитана максимальная УСР ($\mu_{max}=0.117 \pm 0.019$ 1/час), константа Михаэлиса-Ментена ($K_s=7,85 \pm 6,6$ мг ХПК/л), а также коэффициент поглощения органики почвенного экстракта Б: $y=11,74 \pm 1,17$ г ХПК/г биомассы.

МОДЕЛЬНЫЙ ПРОГНОЗ: ДИНАМИКА БАКТЕРИЙ

Расчет динамики Б проводился по имитационной модели экосистемы. Модель имеет следующие основные блоки: гидрологический блок (осуществляющий гравитационное и ветровое течения), блок морфометрии водоема, гидрохимический блок, экологический блок. Чтобы адаптировать модель к новому водоему необходимо указать карту глубин, распределение поверхностных камер, соответствующие входные временные ряды и соответствующие гидрометеорологические условия (ветер, радиацию и т.п.). Экологический блок содержит следующие компоненты: диатомовые и сине-зеленые водоросли, Б, зоопланктон, простейшие, химические компоненты. Зависимость УСР от Б представлена на рисунке 1.

Расчет динамики Б совместно с представлением натуральных полевых данных (по заливу Сыда Красноярского водохранилища) проводился для вариантов экосистем различной степени сложности (обозначенных на рис. 2 цифрами 1-8):

1. только гидрологическая модель, биологические процессы «заморожены»;
2. Б ограничено ХПК, остальные компоненты отсутствуют;
3. присутствуют следующие компоненты: диатомовые и сине-зеленые водоросли, бактерии, простейшие, органическое вещество, фосфор, азот, при отсутствии зоопланктона и круговорота;

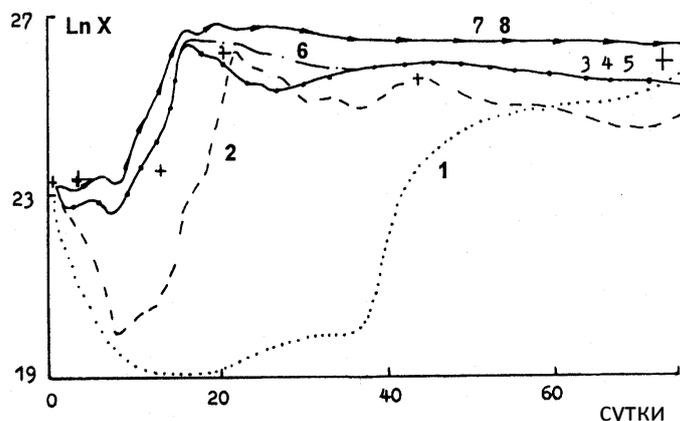


Рисунок 2. Расчетная динамика бактерий (+ – данные наблюдений)

4. то же, что и вариант 3, но с круговоротом;
5. то же что и вариант 3, за исключением повышения G_{diatom} и зоопланктона;
6. то же что и вариант 5, но с круговоротом;
7. то же что и вариант 6, за исключением еще большего повышения G_{diatom} ;
8. то же что и вариант 3, но с включением каннибализма зоопланктона, и круговоротом, G_{diatom} несколько ниже.

Динамика Б связана с изменениями введения ограничивающей рост органики в «камеру». При снижении притока органики Б отмирает и плотность Б снижается. Важным следствием этого является то, что приток аллохтонной органики как таковой не может адекватно объяснить наблюдаемую динамику Б и становится необходимым допустить образование дополнительного аллохтонного вещества в водной экосистеме. Это заставило перейти к более сложным моделям экосистем.

МОДЕЛЬНЫЙ ПРОГНОЗ: ДИНАМИКА САМООЧИЩЕНИЯ

Еще одним применением кинетических характеристик является прогноз самоочищения. В качестве нового параметра введем экономическую оценку ущерба, наносимого сбросами предприятий в совокупности с температурными перепадами на Енисее после строительства Красноярской гидроэлектростанции. Летняя температура на участке от Дивногорска до Красноярска упала с 18–20 °С до 10–12 °С [3], в то время как зимняя температура воды поднялась на один-два градуса выше точки замерзания. Такие изменения должны оказывать влияние на экосистему. Ниже описываемый подход не имеет целью дать портрет системы, а всего лишь продемонстрировать использование биофизических показателей в экологических и экономических моделях.

Для получения эколого-экономической оценки ущерба допустим, что существует только одно загрязняющее вещество (например, общая концентрация S органического вещества), поглощаемого Б. Самоочищение представляет собой снижение S вниз по течению. При допущении высокой турбулентности в вертикальных и боковых измерениях, что вполне вероятно для Енисея, очищение зависит только от расстояния вдоль реки, r , и от времени t . Уравнение динамики экосистемы, объединенное с уравнениями движения Сан-Венана (1) для нестационарного потока жидкости имеют вид:

$$\begin{cases} I_0 - \frac{\partial h}{\partial r} = \frac{v^2}{c^2 R} + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial r}, & \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial r} = q \\ \frac{\partial s}{\partial t} + v \frac{\partial s}{\partial r} = -G(s)X, & \frac{\partial X}{\partial t} + v \frac{\partial X}{\partial r} = -G(s) \frac{1}{y} X \end{cases} \quad (1)$$

$$I \equiv I_0 - \partial h / \partial r$$

с типичными граничными и начальными условиями [4,5]. Здесь t – время; r – координата, рассчитанная вдоль потока; Q – расход воды; I_0 – уклон дна; h – уровень воды; I – уклон водной поверхности в виде разности между уклоном дна и глубиной (h), изменяющейся по потоку; $v(r,t)$ – средняя скорость на участке r ; g – ускорение тяжести; R – гидравлический радиус; $c=c(R)$ – коэффициент Шези (Shezy factor); q – приток на единицу водного потока; $w(h,t)$ – «живое» сечение; $X(r,t)$ – биомасса Б; $G(s)$ – УСР Б как функция S ; $S(r,t)$ – концентрация загрязняющего вещества, т.е. растворенного органического вещества (РОВ); $1/y$ – коэффициент урожайности.

Для простоты рассмотрим стационарную задачу для системы (1). Решение такой системы относительно $s(r)$ (при линейной УСР: $G(s) = \mu_{\text{max}}/K_s * S \equiv k * S$) имеет вид:

$$s(r) = (X_0/y + s_0) s_0 / (X_0/y * \exp[k(X_0/y + s_0)r/v] + s_0), \quad (2)$$

где $s_0 = s(0)$, $X_0 = X(0)$, т.е. для $r=0$.

В случае, когда УСР Б описывается уравнением Моно ($G(s) = \mu_{\text{max}} s / (K_s + s)$) аналитическое выражение для $s(r)$ преобразуется к трансцендентному виду:

$$s_0((X_0/y + s_0) - s(r))^a / s(r) = (X_0/y)^a \exp[k(X_0/y + s_0)r/v], \quad (3)$$

где $a \equiv 1 + (X_0/y + s_0)/K_s$.

Проанализируем следующую ситуацию: каким образом s_0 - начальная концентрация загрязняющего вещества в месте «предыдущего» выброса влияет на фоновую концентрацию этого вещества на участке до «следующего» выброса? Можно показать (см. формулу (3)), что при очень высоких и очень малых концентрациях s_0 величины $s(r)$ будут небольшими. Следовательно, существует такая критическая величина $s_0 = s_0^{\text{crit}}$, после которой концентрация $s(r)$ снижается, т.е. может возникнуть «парадоксальная ситуация» когда при повышении загрязненности где-то сверху по течению концентрация загрязнения на некотором расстоянии вниз по течению снижается. При большой начальной биомассе X_0 имеем аналитическую оценку: $s_0^{\text{crit}} > v/(rk)$. Учет насыщения в зависимости УСР (3) может вызвать появление еще одной критической концентрации s_0 , после которой фоновая концентрация вновь начнет подниматься (рис. 3).

Допустим, что на расстоянии r' был произведен сброс того же загрязняющего вещества с очистных сооружений со скоростью Q_d и концентрацией $S_i(r')$. Обозначив концентрацию РОВ на расстоянии $r' - \varepsilon_1$ ($\varepsilon_1 \approx 0$) вверх по течению от места сброса как $S_{up}(r')$ и вниз по течению ($r' + \varepsilon_1$), как $S_{dw}(r')$, получаем (при условии полного перемешивания)

$$S_{dw}(r') = Q/(Q_d+Q) S_{up}(r') + Q_d/(Q_d+Q)S_i(r') \text{ или} \\ (1+ \beta) S_{dw}(r') = S_{up}(r') + \beta S_i(r'), \tag{4}$$

где $\beta \equiv Q_d/Q$ – коэффициент перемешивания. При неполном перемешивании Q можно заменить на соответствующий поток.

Величина S_i , может быть связана с концентрацией загрязняющего вещества на входе очистного сооружения (P) отношением $\alpha P/(\alpha +m) = S_i$. Стоимость (m) резко повышается с повышением степени очистки. Наивысшая возможная концентрация $S_{dw}(r')$ не должна превышать максимально допустимую концентрацию – ПДК. Следовательно, S_i также имеет верхний предел $S_i \leq (1+ \beta)ПДК/ \beta + S_{up}/ \beta$. Это условие, ограничение $S_i(P)$ и выражение (4), приводят к искомой формуле стоимости очистки (m) с допущением на предысторию самоочищения в реке

$$m = \{ \alpha [\beta(P-ПДК) + (S_{up}(r') -ПДК)] \} / \{ \beta ПДК - (S_{up}(r')-ПДК) \}. \tag{5}$$

В зависимости от требуемой точности оценки (m) концентрацию S_{up} в (5) можно рассматривать в виде (2) или (3). Оценка m сама по себе не определяет ущерба; скорее стоимость сохранения природы (очистки), но изменения этой величины могут обеспечить знание ущерба или прибыли при изменении условий. При объединении с (2) выражение (5) обеспечивает стоимость очистки как функцию параметров экосистемы, таких как максимальная УСР, урожайность и т.д. Если эти важнейшие характеристики соотношены с влиянием факторов окружающей среды, V_i , таких как температура, токсиканты и т.д. составляющие ущерба можно определить для любого фактора.

а) Общий ущерб – составляющие ущерба. Найдено, что стоимость очистки (m) является функцией внешних факторов (V_i), или $m=m(V_i, \dots, V_n)$. Соответственно, общий ущерб (или прибыль) Δm при небольших отклонениях V_i от начальных величин V_i оценивается выражением:

$$\Delta m = \sum_{i=1}^n (\partial m / \partial V_i) * \Delta V_i .$$

Величина $\partial m / \partial V_i$ определяет ущерб или экономию приписываемые “единичному” изменению влияния V_i , а $\Delta m_i = (\partial m / \partial V_i) * \Delta V_i$ представляет собой составляющую ущерба в случае изменения коэффициента на ΔV_i .

Проведем оценку ущерба, вызванную изменением, скажем, температуры, T. Применим $S_{up}(r)$ в виде уравнения (2) или при строгих ограничениях. Легко доказать, что

$$m = (Q_1 \exp(dr) + I_1) / (Q_2 \exp(dr) + I_2),$$

где явный вид параметров не приводится для экономии места $d=kX_0v^{-1}/y$. Пусть $d=d(T)$. В диапазоне исследованных температур было экспериментально обнаружено, что $(\partial k / \partial T) > 0$. Другими словами, приводится увеличивающаяся часть УСР как функция температуры. Тогда,

$$\Delta m_T \equiv (\partial m / \partial T) \Delta T = \lambda (\partial k / \partial T) \Delta T \quad (\lambda < 0) \tag{6}$$

Последнее выражение показывает, что с падением температуры Δm_T положительно. Следовательно, снижение температуры приводит к ущербу, который можно оценить в строгих количественных терминах по формуле (6).

б) Какова стоимость очистки? На этот необычный, но важный вопрос можно ответить очень четко. В гипотетическом случае отсутствия самоочистки ($k = 0$) стоимость очистки составляет

$$m_0 = \alpha (\beta P - S_{up}^{crit} + s_0) / (S_{up}^{crit} - s_0), \text{ где } S_{up}^{crit} \equiv (1+ \beta) ПДК.$$

С допущением природного механизма очистки ($k \neq 0$) она составляет

$$m_k = \alpha [\beta P - S_{up}^{crit} + S_{up}(r)] / [S_{up}^{crit} - S_{up}(r)].$$

При равенстве всех прочих условий стоимость дается разностью ($m_0 - m_k$). В действительности, это - оценка финансовой “помощи” очистному сооружению, обеспечиваемой водной экосистемой. Тогда, $E = (m_0 - m_k) / m_0$ представляет собой экономию, приписываемую данной “помощи”. Преимущество данной оценки заключается в независимости от параметра α – стоимости самоочистки – которая является неизвестной.

Для конкретизации оценки ущерба воспользуемся экспериментальными результатами, полученными на Красноярском водохранилище. В экспериментах с природной смешанной культурой Б исследовалась реакция УСР на различные концентрации почвенных экстрактов из материалов почвы при размывании берегов (рис. 1), что позволило лучше понять влияние природных веществ на рост бактериальных культур и на самоочищение.

Концентрация органического вещества, ограничивающего рост, определялась по химическому потреблению кислорода (ХПК). В этих экспериментах получена УСР агрегированного бактериопланктона как функция уровня ХПК $G(S)$ (рис. 1).

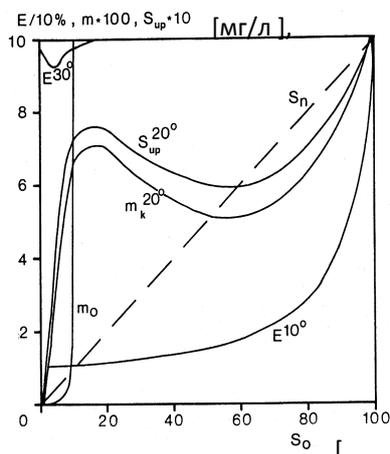


Рисунок 3. Самоочистка (E), стоимость очистки (m) и концентрация загрязняющего вещества РОВ (S_{up}) как функция концентрации «выше» по течению (S_o); цифры сверху – температуры воды; S_n – концентрация без самоочистки ($k=0$)

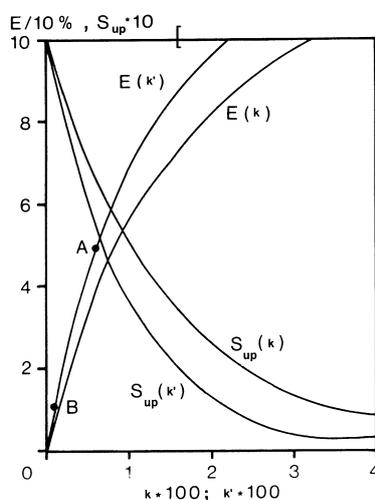


Рисунок 4. E и S_{up} ($r=40$) как функция константы Михаэлиса ($E(k)$ и $S_{up}(k)$; $k = \mu_{max}/ks$; $\mu_{max} = 0,36$) выраженные в k . $E(k')$ и $S_{up}(k')$ являются зависимостями от максимальной УСР, которая меняется с температурой: А – при $T = 20^\circ\text{C}$; В – при $T = 10^\circ\text{C}$

Нами принято, что та же зависимость сохраняется вниз по течению ниже Красноярского водохранилища ($S_{ХПК}$) и выражена как $S_{sgr} = S_{ХПК} * 1,7$ [6]:

$$G(S) = k'(T)S/(13,75+S); k'(T) = 0,34 \exp\{-[(T-32)/11,3]^2\}.$$

Расчетные величины E , S_{up} и m для некоторых модельных параметров ($P = 1,000$; $\beta = 0,01$; $\alpha = 1$; $x_o = 0,33$; ПДК= 10), экспериментальных данных ($G(S)$ и $y = 0,0501$.) и натуральных значений ($r = 40$ км; $v = 4$ км/час) показаны на рисунке 3. $S_{up}(r)$ использовалась в виде уравнения (3). На рисунке 4 показаны экономическая выгода самоочистки. E и фоновый уровень РОВ, S_{up} (ХПК) вниз по течению как функция константы Михаэлиса и максимальной УСР (при окончательном анализе – функция T). В модельном примере снижение средней летней температуры на 10°C привело к 40%-ному снижению экономии (точки А и В на рис. 4).

При данной оценке экономических последствий экологических изменений экосистема рассматривается в свете экономической целесообразности. Объединение с другими экспертными критериями может привести к комплексному принятию решений по водопользованию. Преимуществом предлагаемого подхода является четкость всех легко определяемых параметров. Данный подход может быть итеративно использован для полного описания экономической эффективности экосистемы для всей реки.

ВЫВОДЫ

Установлено, что зависимость УСР общего количества Б (неидентифицированная смешанная культура) от уровня ХПК экстракта описывается уравнением Махаэлиса-Ментена как и для чистых культур. Математические расчеты динамики общей численности Б позволяют сделать следующие выводы: 1) новый метод модельного насыщения кинетическими экспериментальными данными дает возможность рассчитать динамику Б существенно более адекватную; 2) более детальное описание экосистемы повышает адекватность прогноза; 3) анализ гидрологических расчетов показывает, что в среднем за сезон и за исключением периодов цветения результаты моделирования качественно, а для некоторых камер и составляющих и количественно приближаются

к наблюдаемым; 4) предложен нетрадиционный метод оценки экономичности самоочистки речной экосистемы. Это, в частности, справедливо для камер, на которые оказывает большое влияние реки, втекающие в них и создающие условия непрерывного протока. В настоящей статье мы рассмотрели нетрадиционный подход к моделированию качества воды и динамики Б, основанный на цепочке теоретических и экспериментальных исследовательских этапов: синтез экосистемной модели, включающий кинетические характеристики --> проверка модели на основе существующих данных --> расчеты прогнозных и общих смет экологических последствий проекта. Данный экспериментальный метод получения кинетической информации совместно с моделированием может найти применение в различных сферах водопользования на водохранилищах.

Благодарности: Работа «Разработка сценариев управления рекреационным потенциалом Абаканской протоки р. Енисей в г. Красноярске на основе мониторинга ее экологического состояния и математического моделирования» проведена при поддержке Красноярского краевого фонда науки.

Список литературы / References:

1. Карр Н.Г., Уиттон Б.А. *Биология цианобактерий*. Унив. Беркли Пресс, Беркли, 1982, 688 с. [Carr N.G., Whitton B.A. *Biology of cyanobacteria*. Univ. Berkeley Press, Berkeley, 1982, 688 p. (In Russ.)]
2. Теппер Е.З., Шилинкова Б.К., Переверзева Г.Л. *Микробиологический практикум*. Агропромиздат, Москва, 1987, 239 с. [Tepper E.Z., Shilinkova B.K., Pereverzeva G.L. *Microbiological workshop*. Agropromizdat, Moscow, 1987, 239 p. (In Russ.)]
3. Гительзон И.И., Абросов Н.С., Гладышев М.И., Дегерменджи А.Г., Сидько Ф.Я., Шевырнов А.П., Голд В.М., Голд С.З. *Енисей: проблемы крупнейшей реки Сибири*, с. 471-485. В: Дегенс, Е. Т. и Р. Херрера (ред.), Круговорот углерода и минеральных веществ в крупнейших реках мира. Сондербд. N58, SCOPE/UNEP, Гамбург, 1985.
4. Антонцев С.А., Меирманов А.М. *Математические модели совместного движения поверхностных и грунтовых вод*, Изд-во НГУ, Новосибирск, 1979. [Antontsev S.A., Meirmanov A.M. *Mathematical models of joint motion of surface and ground waters*, Novosibirsk, 1979. (In Russ.)]
5. Дегерменджи А.Г., Печуркин Н.С., Шкиденко А.Н. *Автостабилизация факторов роста в биологических системах*, Изд-во Наука, Новосибирск, 1979, 141 с. [Degermendzhi A.G., Pechurkin N.S., Shkidenko A.N. *Autostabilization of growth factors in biological systems*, Nauka, Novosibirsk, 1979, 141 p. (In Russ.)]
6. Алёкин О.А. *Основы гидрохимии*. Л.: Гидрометеоздат, С.-Петербург, 1970, 444 с. [Alekin O.A. *Fundamentals of Hydrochemistry*. L.: Gidrometeoizdat, 1970, 443 p. (In Russ.)]

MATHEMATICAL SIMULATION OF BACTERIOPLANKTON DYNAMICS ON ORGANIC SOIL EXTRACTS OF KRASNOYARSK RESERVOIR

Degermendzhi N.N.

Krasnoyarsk State Medical University named after Prof. V.F. Voino-Yasenetsky
Partizana Zheleznyaka str., 1, Krasnoyarsk. 660022, Russia; e-mail: nn1947@yandex.ru

Abstract. Ecological forecasting of microorganisms dynamics and water quality in the Krasnoyarsk reservoir is based on knowledge of the dependence of specific growth rate (SGR) on limiting substrates. The object of the study is the influence of the soil extract of the material of coastal collapses – permanganate oxidability – COC (chemical oxygen consumption) on the growth of autochthonous bacterioplankton of the Krasnoyarsk reservoir. The maximum SGR and Michaelis-Menten constant are determined. These parameters were used in the eco-model of the Krasnoyarsk reservoir to assess the efficiency of self-cleaning.

Key words: soil extract, bacterioplankton, growth kinetics, prognosis.