

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ И СОСТОЯНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА ОЗЕРА ИССЫК КУЛЬ

А.К. Тыныбеков

Институт биотехнологии НАН КР, Бишкек, Кыргызстан

Анализируются дозы облучения, получаемые биотой озера Иссык-Куль. На протяжении всей эволюции живого вещества оно подвергалось воздействию облучения от естественных радионуклидов, рассеянных в земной коре, воде и атмосфере. Предполагается, что все радионуклиды, поступающие в окружающую среду, могут быть источниками радиационного риска. Предметом настоящей статьи является анализ современной радиоэкологической ситуации в биосфере и возможностей ее оптимизации, основанный на методологии оценки экологического риска

Ключевые слова: фитопланктон, естественные радионуклиды, биосфера, окружающая среда,

Озеро Иссык-Куль расположено в северо-восточной части республики, между хребтами Северного Тянь-Шаня: Кунгей-Ала-Тоо и Терской-Ала-Тоо, на высоте 1609 м над уровнем моря. Озеро бессточное, в него впадает около 80 сравнительно небольших рек. Из них крупнейшими являются Тюп и Джергалан, впадающие с востока. Вода солоноватая (минерализация воды – 5,90 ‰) и поэтому зимой она не замерзает. Объем воды равен 1738 км³, площадь зеркала воды. – 6236 км², средняя глубина – 278 м, наибольшая глубина 702 м. Протяженность Иссык-Куля с запада на восток – 182 км, а с юга на север – 58 км. Климат – умеренно морской. Иссык-Куль оказывает смягчающее влияние по акватории озера. Средняя температура января: . –2° –6°, средняя температура июля: +17° +21°. В западных горах, окаймляющих озеро, выпадает всего 115 мм осадков, на восточном берегу – около 600 мм. Однако в последние годы количество осадков увеличилось.



Рис. 1. Спутниковый снимок озера Иссык-Куль. STS047-077-082 (сентябрь, 1992), STS091-715-005 (июнь, 1998), (<http://earth.jsc.nasa.gov/geon.html>)

Известно, что океаны, моря и другие водоемы являются основным резервуаром, куда поступают радионуклиды (выпадения из атмосферы, жидкие и твердые стоки с суши), а гидробионты (в том числе и рыбы) обладают очень высокой радиочувствительностью. В целом аккумуляция радиоактивных веществ живым организмом в воде значительно больше, чем на суше [2-8]. Способность радионуклидов растворяться в природных водах имеет большое значение в миграции этого элемента из горных пород в почвы и живые организмы. Однако количественное содержание растворенных в природных водах радионуклидов определяется химическим составом природных вод, взаимо-

действием их с породами, а также климатическими факторами. Согласно исследованиям проф. В.В. Ковальского (1968), воды рек районов Иссык-Кульской котловины в значительно большей степени обогащены ураном [2-7]. Очевидно, повышенное содержание урана в водах следует связывать не только с климатическими условиями районов, но и с геологическим строением речных долин, а также особенностями химического состава речных вод, способных хорошо извлекать уран из горных пород. Так, например, если в северных реках России (Северная Двина, Лена, Нева, Кама) содержание урана колеблется в пределах $(2-13) \times 10^{-7}$ г/л, в то время как в реках, впадающих в озеро Иссык-Куль, его концентрация повышается до $(58-71) \times 10^{-7}$ г/л. По химическому составу вода озера Иссык-Куль относится к сульфатно-хлоридному классу, группы магния и обладает щелочной реакцией (рН 8,30-9,00). Общая минерализация воды по акватории достигает 6193,9 мг/л и только вблизи устья рек и в заливах содержание солей уменьшается и составляет 797,0-5243,1 мг/л. Кислородный режим озера удовлетворительный, высокое содержание кислорода отмечается по всей толще воды от поверхности до дна. Прозрачность воды достигает 13-16 м по акватории и 0,5-8 м в прибрежной зоне и местах впадения рек. Уровень загрязнения воды озера невысокий. Содержание биогенных элементов незначительно: азот аммонийный 0,00-0,16 мг/л (0,00-0,41 ПДК), азот нитратный 0,09-0,040 мг/л (0,01-0,04 ПДК). В 2002 г. концентрация нефтепродуктов отмечалась в пределах 0,00-0,02 мг/л (0,00,4 ПДК), соединений Zn 0,000-0,016 мг/л (0,0-1,6 ПДК). В прибрежной зоне г. Балыкчы и в районе впадения р.Тон в июле зафиксировано содержание фенолов 0,002 мг/л (2 ПДК). В Джергаланском и Покровском заливах, прибрежной зоне пгт. Каджи-Сай в октябре обнаружено содержание соединений Си до 0,002 мг/л (2 ПДК). На отдельных участках особых изменений температуры воды не обнаружено, но наблюдается различие по западной и восточной части озера до 1 – 1,5°С градусов. Кислотность воды по участкам почти не меняется, она колеблется от 8,67 до 8,93 и является слабощелочной. По другим физико-химическим параметрам воды озера (рН/mV, DRPmV, mS/cm, mg/L DO, g/L DO, ppt, ot) особых закономерностей не обнаружено [8]. Результаты определения изотопного состава радионуклидов в воде озера Иссык-Куль представлены в табл. 10. Как видно из данных, удельная активность стронция-90 варьировала в пределах 0,015 – 0,036 Бк/л (ПДУ 5 Бк/л), цезия – 137 0,043-0,065 Бк/л, (ПДУ 11 Бк/л), что

намного ниже установленных норм радиационной безопасности для воды (IAEA, 2009).

Таблица 1. Удельная активность радионуклидов в воде озера

Sr-90 (Бк/л)			Cs-137 (Бк/л)		
Предел колебаний	Среднее	ПДУ для воды	Предел колебаний	Среднее	ПДУ для воды
0,015-0,036	0,021	5,0	0,043-0,065	0,055	11,0

Накопление радиоактивных веществ органами и тканями рыб, а также распределение и выделение их зависит от целого ряда условий, основными из которых являются: химическая природа радиоизотопов и периоды их полураспада, концентрация радиоизотопов в воде и времени пребывания в ней рыб, вид, возраст, физиологическое состояние рыбы и экологические условия. Чем выше степень радиоактивности воды, тем больше степень загрязнённости рыб.

Различные радиоизотопы, попадая в организм рыб, распределяются по органам и тканям неравномерно. Концентрация в тканях определяется в первую очередь их химическими свойствами. Встречаясь с различными химическими соединениями, входящими в состав тканей рыб или являющимися продуктами обмена веществ, радиоизотопы вступают с ними в обменные реакции. Таким образом, экологические условия и физиологическое состояние рыб играют значительную роль в загрязнении их радиоактивными веществами [8].

Для рыбной продукции установлены санитарно-гигиенические допустимые уровни (ДУ), которые составляют по цезию: 137-150 Бк/кг, по стронцию-90-35 Бк/кг (ОСПОРБ-99). Более строгие допустимые уровни загрязнения рыбы стронцием обусловлены способностью этого радионуклида накапливаться в костях, что существенно замедляет выведение стронция-90 из организма человека (животных).

Стронций – радиостронций очень близок в химическом отношении к кальцию и, попадая в животный организм, откладывается в кальцийсодержащих тканях, главным образом в костях. Повышение содержания нерадиоактивного кальция в окружающей воде ведёт к снижению аккумуляции радиостронция рыбами. Ход направленности обменных реакций в организме рыб определяются соотношением между процессами накопления и выведения радиоизотопов организмом.

Цезий-137. Изучение накопления цезия-137 водными организмами в природных условиях связано с количественной оценкой и прогнозированием перехода искусственных радионуклидов из внешней среды в живые организмы. В настоящее время наиболее интересны исследования в естественных условиях, так как они позволяют получить реальные количественные показатели миграционного переноса радионуклидов в те или иные элементы экосистемы.

Виды рыб, выбранные для радиационного анализа:

1. Окуневые. Судак (*Lucioperca lucioperca* L., 1758) – хищник, широко распространен (промысловые).

2. Лососевые – Иссык-Кульская форель (*Salmonidae: Salmo ischchan Issykogegarkuni* Lushin., 1932) – бентосные рыбы и хищник (промысловые).

3. Иссык-Кульский чебачок (*Leuciscus bergi* Kaschkarov, 1925) – аборигенный и редкий вид.

Анализы радионуклидов в костной и мышечной тканях рыб проводили после 30 дней упаковки в специальных сосудах. Результаты анализа показаны в табл.1. и на рис.2. Определили всего три основных изотопа гамма-излучения: 226 Ra, 228 Th и 212 Pb. Из таблицы видно, в костной ткани уровень 226 Ra: чебачок – *Leuciscus bergi* Kaschkarov, 1925 и Иссык-Кульская форель – *Salmo ischchan Issykogegarkuni* Lushin., 1932 по сравнению с мышечными тканями больше в 2-3 раза. Торий-228, наоборот, немного повышен в мышечных тканях (0,07 Bg/kg на сырой вес) по сравнению с костными: 0,13 Bg/kg на сырой вес, по другим изотопам и видам особых различий не обнаружено. Нужно отметить, что все полученные результаты находятся в пределах фона и ниже принятой нормы.

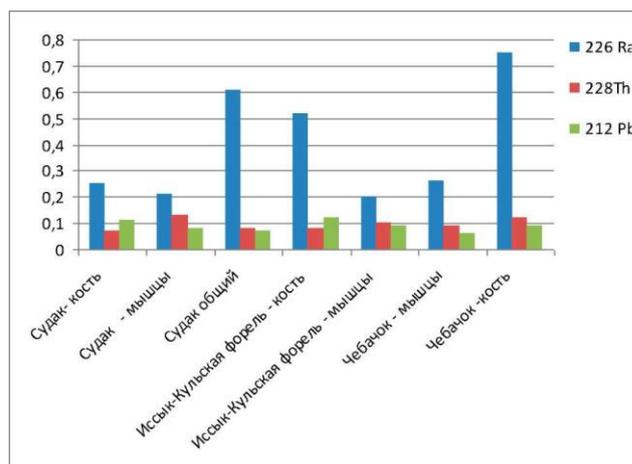


Рис.2. Концентрации радиоизотопов в тканях рыб

Уровень концентрации общего урана в тканях рыб (костной и мышечной) внутри вида особо не отличается, за исключением представителей акклиматизированного вида - форели. Из таблицы 13 видно, что у аборигенного вида – чебачка (*Leuciscus bergi*) в костной и мышечной тканях концентрации общего урана на одном уровне, у акклиматизированного вида – (Иссык-Кульской форели *Salmo ischchan Issykogegarkuni* в мышечной ткани уровень общего урана повышен до 10 раз ($5,9 \times 10^{-6}$), по сравнению с костной тканью ($1,0 \times 10^{-5}$), видимо этот вид является чужеродным для данной провинции.

Таблица 2. Распределение общего урана по тканям рыб (в % на сухой вес)

1	Судак - <i>Lucioperca Lucioperca</i> . (более 2-летнего возраста) - кость - мышцы	$1,1 \times 10^{-5}$ $2,6 \times 10^{-6}$
2	Иссык-Кульская форель <i>Salmo ischchan Issykogegarkuni</i> - кость - мышцы	$1,0 \times 10^{-5}$ $9,5 \times 10^{-7}$
3	Чебачок - <i>Leuciscus bergi</i>	
	- кость - мышцы	$6,1 \times 10^{-5}$ $5,9 \times 10^{-6}$

Исследования показали, что загрязнение радионуклидами носит в основном природный характер. При морфологическом и физиологическом исследовании отдельных видов рыб оз. Иссык-Куль не обнаружено каких-либо изменений. По предварительным радиационным параметрам, мясо исследованных видов рыб озера Иссык-Куль и реки котловины на уровне фона и ниже принятых санитарно-гигиенических нормативах республики и ВОЗ.

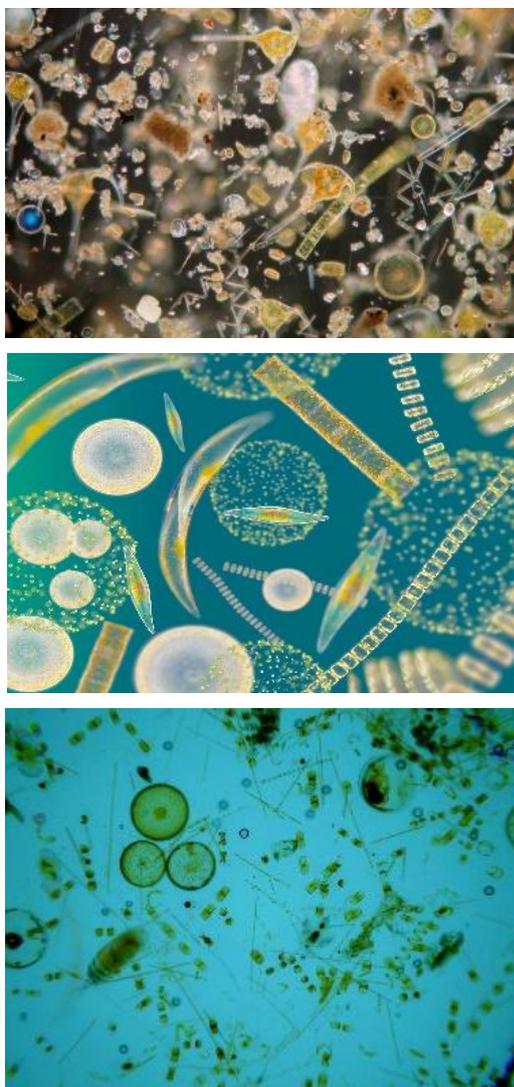


Рис.3. Виды фитопланктона

Экология – наука о процессах взаимодействия в биосфере, являющейся средой обитания живых организмов и располагающейся в зоне активного взаимодействия всех геосфер Земли: атмосферы, гидросферы

и верхней части литосферы. Биосфера включает в себя живое вещество (живые организмы), абиогенный компонент среды обитания (породы, воды, атмосферные газы) и биогенный компонент среды обитания (почвы, илы, биогенные газы). Физико-химические процессы, протекающие здесь при участии солнечной энергии, обеспечивают энергетику живых организмов. Существует как прямая, так и обратная связь между организмами и окружающей их средой. Закон В.И. Вернадского гласит, что миграция химических элементов в биосфере или осуществляется при непосредственном участии живых организмов (биогенная миграция), или протекает в среде, геохимические особенности которой обусловлены живым веществом, как населяющим данную систему в настоящее время, так и действовавшим в биосфере в течение геологической истории (см.: Перельман, 1979).

Экосистема – функциональная единица биосферы. Она представляет собой совокупность живых организмов (животных, растений, микроорганизмов), обитающих на территории экосистемы, и окружающей их среды, которые находятся друг с другом в подвижном равновесии. Живые организмы, обитающие в конкретной экосистеме, приспособились к ее условиям (адаптировались). Вся совокупность может находиться в устойчивом состоянии неопределенно долгое время, пока не произойдут изменения среды. Размеры экосистем разнообразны.

Закон лимитирующих факторов определяет условия существования вида. Физические и химические параметры окружающей организм среды, или окружающей среды, носят название абиотических факторов. К ним относятся: температура, влажность, освещенность, состав и строение почв, солевой состав почвенных вод и др. Таким фактором является и радиоактивность среды. Растения – первичное звено взаимодействия живых организмов со средой. Они жестко к ней привязаны и в отличие от животных не способны к быстрой и направленной миграции в случае изменения среды. Поэтому закон лимитирующих факторов особенно четко проявляется в отношении растительных видов. Для каждого вида существует определенный интервал значений того или иного фактора, который особенно благоприятен для выживания. Этот интервал называется оптимумом. Весь набор значений от минимального до максимального значения фактора, за пределами которого происходит гибель организмов данного вида, называется диапазоном устойчивости. Промежутки слева и справа между оптимумом и границами диапазона устойчивости называются стрессовыми зонами (рис.2). Стрессовые

ситуации могут быть вызваны и биотическими факторами: конкуренцией со стороны другого вида, присутствием паразитов и др.

В последние годы нарушаются установившееся термодинамическое равновесие между геосферами. Резкий скачок строительства пансионатов на берегу озера увеличились поступления в биосферу сопутствующих ему веществ (отходов), не свойственных биосфере, приводит к загрязнению окружающей среды. Многие виды оказались в зоне стресса, а в ряде случаев - за пределами диапазона устойчивости. Антропогенная нагрузка радионуклидов на экосистемы пока в целом имеет локальный характер.

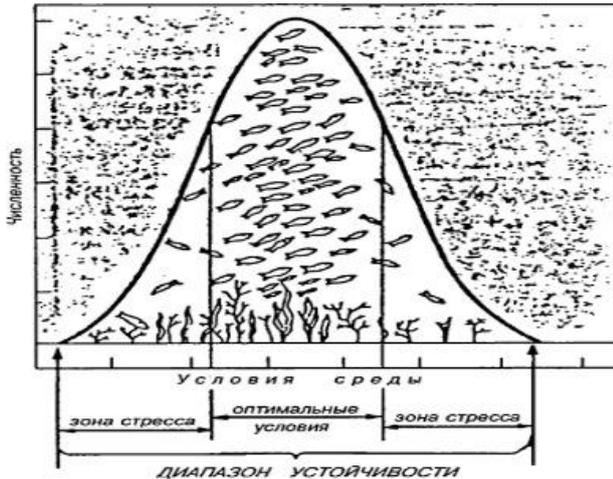


Рис.4. Зависимость численности особей вида от условий среды (закон лимитирующих факторов) (Небел, 1993)

Природный радиационный фон – естественная радиоактивность, свойственная биосфере Земли. Он является необходимым условием существования биосферы, которая возникла и развивалась в условиях этого фона. Источники радиационного фона разделяются на внешние, находящиеся за пределами живых организмов, и внутренние, поступившие в организмы тем или иным путем.

Внешние источники природного радиационного фона имеют как земное, так и космическое происхождение. Космическая составляющая радиационного фона на высоте уровня моря создает поглощенную дозу, в среднем равную 3,15 мкрад/ч (28 мрад/год). Поглощенная доза за счет нейтронов вторичного космического излучения на широте 40° составляет 0,35

мрад/год, а в экваториальной области – 0,2 мрад/год. Внешнее облучение человека естественными радионуклидами вне помещений вызвано присутствием в почве и приземном слое атмосферы γ -излучающих радионуклидов.

Составляющая внешнего радиационного фона, обусловленная естественными радионуклидами, создается практически радионуклидами, входящими в ряды распада урана и тория, а также калием (^{40}K). В среднем принимают, что эта составляющая приблизительно создается на 40% торием с продуктами распада, на 25% – ураном с продуктами распада и на 35% – ^{40}K (Алексахин, 1982) [3-7].

На Земле существуют локальные участки, а нередко и крупные территории, где высокий радиационный фон обусловлен природными причинами. Локальные участки могут быть связаны с выходами радиоактивных подземных вод, зонами разломов, ореолами рассеяния радиоактивных и редкоземельных месторождений. Крупные территории с высоким радиационным фоном часто приурочены к прибрежным или аллювиальным россыпям Th – U-содержащих минералов (монацит, циркон, редкоземельные минералы и т.д. [3-7].

Концентрация радионуклидов в природных водах определяется: а) возможностью поступления в раствор из твердой фазы; б) условиями, способствующими удержанию радионуклида в растворенном состоянии; в) отсутствием осаждающих геохимических барьеров. Естественно, поведение радионуклидов будет тесно связано с описанной выше гидрохимической зональностью. Содержание и формы нахождения радионуклидов в дренируемых породах особенно сильно влияют на состав грунтовых, подземных и озерных вод. В речных водах это влияние наиболее заметно для мелких водотоков. В крупных реках происходит существенное усреднение составов.

Для химических элементов урана, тория и калия определяющее значение в природных водах имеют их химические свойства. Все продукты распада радиоактивных рядов находятся в природе в ультрамалых концентрациях.

Изотопы урана наиболее подвижны и наиболее устойчивы в растворе в окислительной обстановке земной поверхности по сравнению с другими природными радионуклидами. Из всех трех природных изотопов урана в раствор из твердой фазы с наибольшей вероятностью поступает ^{234}U , который является атомом отдачи. Поэтому в природных водах активность дочернего ^{234}U выше, чем активность материнского ^{238}U , и их отношение $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ всегда больше единицы (равновесного значения). Исключение составляют воды, полностью растворяющие урановые минералы, в которых $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} \approx 1$.

Концентрация урана в воде при одном и том же содержании в водовмещающих породах зависит от ее состава, минерализации и окислительно-восстановительной обстановки. Поэтому распределение урана в поверхностных и грунтовых водах в целом является функцией природно-климатической зональности.

Трещинно-грунтовые воды гранитных массивов обычно бывают обогащены ураном в результате выщелачивания подвижных форм рассеянного урана.

Осаждение урана происходит на восстановительных барьерах в условиях слабой аэрации. Донные осадки, обогащенные гниющими растительными остатками и Fe (II), всегда заметно обогащены ураном по сравнению с глинистыми осадками того же водоема в проточной воде. В промывном режиме, при свободном доступе O₂ уран не только не фиксируется органическим веществом, но и вымывается из него. Примером могут служить верховые торфяники.

Торий. Th является элементом-гидролизатом, поэтому миграция в растворенном состоянии для него не характерна. В системе порода – вода – осадок он преобладает в твердой фазе. В связи с этим содержание Th в природных водах обычного химического состава, особенно поверхностных, всегда намного ниже содержания урана, несмотря на то что в земной коре Th преобладает над U. Основная часть тория поверхностных вод находится в составе коллоидных или взвешенных частиц.

Особенно благоприятны для извлечения Th кислые сульфатные трещинно-грунтовые воды кислых и щелочных изверженных пород, образующиеся в близ поверхностных условиях при окислении сульфидов. Такие воды способны не только выщелачивать рассеянные на поверхности трещин продукты гидролиза Th, но и частично растворять Th-содержащие акцессорные минералы. Концентрация Th в подобных водах может достигать 10⁻⁵ г/л и существенно превышать содержание урана. При прочих равных условиях из пород в воду с большей вероятностью по сравнению с материнским ²³²Th переходят дочерние изотопы

Th (²²⁸Th, ²²⁷Th, ²³⁰Th, ²³⁴Th), являющиеся атомами отдачи. Наблюдающиеся в ряде случаев высокие величины отношения активностей изотопов ²²⁸Th/ ²³²Th (> 3) обычно обусловлены накоплением ²²⁸Th из ²²⁸Ra.

Радий. Радий является щелочноземельным элементом, химическим аналогом Ba, поэтому поведение Ra в растворе часто контролируется присутствующим там Ba или Ca. Кроме того, все изотопы Ra - атомы отдачи, поэтому они сравнительно легко выщелачиваются из твердой фазы. Из донных осадков легче переходят в раствор наиболее короткоживущие изотопы радия: ²²⁸Ra и ²²⁴Ra, которые уже успели накопиться в твердой фазе в виде атомов отдачи из материнских радионуклидов. Чаще всего наиболее долгоживущий ²²⁶Ra поступает в осадки из раствора самостоятельно и в подобных случаях не является атомом отдачи. В то же время в минерально-обломочной терригенной фракции донных осадков он является атомом отдачи.

Накопление радионуклидов растительными организмами имеет важное значение, так как через пищевые цепочки оно связано с поступлением радионуклидов в организм человека. Для водных биогеоценозов оно зависит от концентрации радионуклидов в среде обитания (питания) растений, химических свойств радионуклидов, химического состава водной среды и видовых особенностей растений.

Для оценки степени накопления радионуклидов организмами, независимо от активности среды, используют так называемые коэффициенты накопления (КН) или коэффициенты биологического поглощения (КБП). В качестве примера приведены КН у гидробионтов оз. Иссык-Куль по данным И.Е. Воротицкой (табл.2).

Таблица 3. Коэффициенты накопления (КН) урана у гидробионтов

Флора	КН	Фауна	КН
Диатомовые водоросли	200	Рыбы	8-40
Нитчатые водоросли	45	Кости рыб	170
		Моллюски	38
		Личинки стрекоз	8

Из табл.3. видно, что КН у растений выше, чем у животных. Максимальное количество урана концентрируется отмершими растениями в результате его восстановления на гниющих растительных остатках. У животных организмов накопление урана происходит преимущественно в скелете. Растения, потребля-

ющие питательные вещества из воды, отличались большими величинами КН, чем растения, имеющие корни в грунте. Выводы о различии в поглощении отдельных радионуклидов группами растений представлены в табл.4.

Таблица 4. Коэффициенты накопления (КН) радионуклидов у водных растений (на сухую массу)

Растения	²³⁸ U	²²⁶ Ra	²³² Th	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Po
Высшие	3 400 (170 - 16000)	5 200 (470 - 33400)	8 900 (970 - 15 800)	2 050 – 8 900	1 300 – 12 800
Водоросли многоклеточные	100 (40 -310)	1 120 (160 – 1 960)	1 620 (1 900 - 30500)	2 000	2 100
Водоросли одноклеточные	350 (200 910)	2 750 (880 – 12200)	117 400 (88 700 - 146750)	9 200 – 10 400	7 400 – 7 800

Эксперимент проводился в озерной воде с минерализацией 180 мг/л и рН 8,2 - 8,4, в которую добавлялись необходимые концентрации радионуклидов. По данным А.А. Искры и В.Г. Бахурова (1981), У заметно лучше накапливается высшими растениями. Накопление Th возрастает от высших растений к одноклеточным водорослям [1]. Максимальное концентрирование Ra связано с ряской и одноклеточными водорослями. Активными накопителями Po были также одноклеточные водоросли.

Было отмечено влияние радионуклидного состава на КН у водной растительности. Наибольшая накопительная способность этих элементов была обнаружена у одноклеточных водорослей, обладающих максимальной удельной поверхностью. Это позволяет утверждать, что в данном случае имели место сорбционные процессы.

Влияние концентрации радионуклида в воде сказывается лишь на КН урана. Это может представлять интерес для техногенно загрязненных ураном водоемов. Изменение концентраций остальных радионуклидов, находящихся в воде в ультрамалых концентрациях, не влияет на величины КН.

Роль рН в накоплении радионуклидов гидробионтами определяется в связи с изменением поверхностного электрического заряда, осмотического давления, а также с переходом радионуклида в иные формы.

Таким образом, накопление радионуклидов гидробионтами происходит по двум основным механизмам: 1) биологическому (поглощение живыми организмами в результате жизнедеятельности) и 2) физико-химическому (концентрирование на поверхности организмов в результате сорбции и соосаждения с макроэлементами). Накопление радионуклидов детритом и отмершими растительными остатками не связано с жизнедеятельностью организмов и имеет чисто химическую или физико-химическую природу.

Даже самое интенсивное образование фитопланктона, не может в полной мере использовать запасы нитратов и фосфатов поверхностных слоев.

Зависимость жизнедеятельности фитопланктона от освещенности способствовала увеличению площади поверхности организмов.

В отличие от наземных растений, увеличивающих поверхность листьев путем придания им плоской формы на жесткой основе, обитатели толщи воды обеспечивают относительное увеличение площади своей поверхности путем максимального измельчения особей, создания клеток предельно малых размеров. Фитопланктон, прежде всего перидинеи и диатомеи, состоит из микроскопических водорослей, размеры которых обычно находятся в пределах 10-1...10-4 см.

Однако, увеличение интенсивности радиации, степени освещенности поверхностных слоев не сопровождается синхронной интенсификацией процессов фотосинтеза. Эти процессы наиболее результативны при оптимальных показателях освещенности.

Быстрое нарастание интенсивности фотосинтеза при увеличении освещенности происходит до опреде-

ленного уровня, а затем снижается и при максимальной солнечной освещенности составляет всего 10 – 20% интенсивности.

В верхнем слое окисляется 83 % всей создаваемой первичной продукции. Остальные 17% окисляются в столбе воды.

Помимо ассимиляции, происходящей в результате фотохимических реакций, водной среде свойственны ассимиляционные процессы другого рода, осуществляемые гетеротрофным микропланктоном — бактериями, простейшими и грибами. Анализ функционирования экосистем пелагиали показал, что создаваемая в них первичная продукция фитопланктона не обеспечивает полностью их энергетический «вход». Оказалось, что для нормального функционирования этих экосистем необходим дополнительный источник энергии по отношению к локальной системе. И таким источником являются бактерии и простейшие. Энергетические оценки биопродукционных процессов показали, что продукция и дыхание бактерий планктона в водах могут превосходить продукцию водорослей.

Литература

1. International atomic energy agency, Quantification of radionuclide transfers in terrestrial and freshwater environments for radiological assessments, IAEA-TECDOC-1616, Vienna: IAEA, 2009. – 51p.
2. Melgunov M.S., Gavishin V.M. Radioactivity anomaly of the south coastal of Issyk-Kul lake (Kyrgyzstan), 2003.– No 6. – P. 1-8.
3. Туньбеков АК, Алиев MS. The ecological condition of Kadji Sai uranium tailings. In: Spyra W, Katzsch M, editors. Environmental Security and Public Safety. XVI. Springer, 2007.– PP.207-217.
4. Туньбеков А.К., Намбы D.M. A screening assessment of external radiation levels on the shore of lake Issyk-Kul in the Kyrgyz Republic. //Health Physics, volum 77, number 4. October 1999. – P. 427-430.
5. Тыныбеков А.К., Намбы D.M. Радиологическая характеристика южного побережья оз. Иссык-Куль. //Сборник трудов Института Менеджмента, Бизнеса и Туризма. Выпуск №2. Бишкек, 1999. – С.9-17.
6. Тыныбеков А.К. Радиологическая характеристика прибрежных зон оз.Иссык-Куль. Окружающая среда и здоровье человека. //Сборник научных трудов. Т. VII, Бишкек, 1999. – С. 78-86.
7. Матыченков В.Е., Тыныбеков А.К. Гидрохимическая и экологическая характеристика рек южного Прииссыккуля // Тр. Кыргызского ин-та минерального сырья. – Бишкек, 2000. – С. 101–110.
8. Туньбеков А.К. Environmental Issues and Safety of Kyrgyz Republic, Inst.Biotechnology NAN KR., 2020. – 247 p.