

Пространственно-временные закономерности распределения содержания метана в водохранилищах⁵

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение «Гидрохимический институт», г. Ростов-на-Дону.

²Южный федеральный университет, 344090, г. Ростов-на-Дону
e-mail: gardim1@yandex.ru

Аннотация. Концентрация метана в воде водохранилищ занимает промежуточное положение между величинами его содержания в воде озер и равнинных рек, с приуроченностью наибольшего количества значений к интервалу 5,0-40,0 мкл в литре. Характерно снижение концентрации газа в воде при удалении от прибрежной зоны к открытой акватории, с минимальными концентрациями в поверхностном слое воды центральных глубоководных районов. Максимальные его концентрации в воде и донных отложениях приурочены к участкам, испытывающим сильное антропогенное воздействие. Сезонные изменения концентраций метана, как правило, характеризуются возрастанием от весны к лету и снижением в осенне-зимний период.

Ключевые слова: водохранилища, вода, донные отложения, метан, распределение, сезонная динамика

Газовый режим является важным показателем экологического состояния водных экосистем. Метан – один из основных компонентов газового состава вод, образуется биохимическим путем при деградации органического вещества сообществом метанобразующих бактерий. Накопление и систематизация данных по содержанию метана в разнообразных водоемах и водотоках суши [1-6] показали, что этот газ постоянно присутствует в воде и донных отложениях, а его уровень отражает интенсивность и направленность продукционно-деструкционных процессов, а, следовательно, степень евтрофирования и загрязнения органическими веществами водных объектов.

Содержание метана в воде водотоков и водоемов суши зависит от соотношения, с одной стороны, его потока из донных отложений, непосредственного образования в воде, поступления с поверхности водосбора, в том числе с притоками и в составе промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод, с другой стороны – окисления метана в воде и его эмиссии в атмосферу. На соотношение перечисленных приходных и расходных частей баланса метана оказывают влияние как естественные факторы и, в первую очередь, климатические и гидрологические условия, контролирующие сезонную и суточную динамику физико-химических и биохимических процессов, так и антропогенное воздействие, накладывающееся на природные факторы и процессы [6, 7].

Водоохранилищами принято считать искусственно созданные котловинные и естественные озерные водоемы с замедленным водообменом, полным объемом более 1 млн. м³, уровеньный режим которых постоянно регулируется (контролируется) гидротехническими сооружениями в целях накопления и последующего использования запасов вод для удовлетворения хозяйственных и социальных потребностей [8].

Среди исследованных авторами водохранилищ следует отметить такие водохранилища как Цимлянское, Ивановское, Рыбинское, Саратовское, Волгоградское, Кубанское, Волчихинское, Чарвакское и многие другие [6, 9].

В статье проанализированы данные собственных исследований и опубликованных материалов, касающиеся закономерностей распределения содержания метана по площади акватории и вертикали водного столба, а также его сезонной динамике в водохранилищах, главным образом, Европейской территории России.

Материалы и методика исследований

Отбор, транспортировка, хранение проб и последующее определение в них концентрации метана парофазным газохроматографическим методом осуществлялись по методикам, подробно описанным в работах [2, 6]. Нижний предел обнаружения метана в воде составляет 0,1 мкл/л, в донных отложениях – 0,01 мкг/г влажного осадка, суммарная погрешность – 5-10%.

Как правило, наряду с определением метана, производились определения физико-химических, гидрологических, метеорологических и микробиологических характеристик в местах отбора проб воды и донных отложений [6].

⁵ Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 12-05-00420, НШ-5548.2014.5.

Результаты исследования и их обсуждение

По имеющимся данным (таблица 1) концентрация метана в воде и донных осадках водохранилищ соответственно изменяется в пределах от $n \cdot 10^{-1}$ до $n \cdot 10^2$ мкл/л и от $n \cdot 10^{-3}$ до $n \cdot 10$ мкг/г [6]. В целом величина концентрации метана в воде водохранилищ занимает промежуточное положение между озерами и равнинными реками, с приуроченностью наибольшего количества значений к интервалу 5,0-40,0 мкл/л. Сравнение уровней содержания метана в воде различных водохранилищ, указывает на закономерность, выражающуюся в уменьшении концентраций газа по мере увеличения площади водного зеркала и глубин, то есть объема водохранилищ.

Таблица 1.

Содержание метана в воде и донных осадках исследованных водохранилищ

Водохранилища	Реки	Содержание метана		Источник
		вода, мкл/л	осадки, мкг/г	
Иваньковское	Волга	0,5-110,5 (25,9)	0,04-25,7 (4,7)	данные авторов
Рыбинское		2,7-46,2 (16,5)	0,03-8,9 (2,1)	то же
Саратовское		2,4-25,1 (7,8)	-	то же
Волгоградское		1,0-96,0 (11,0)	-	то же
Иваньковское		5,8-29,2	-	[10]
Угличское		4,2-14,6	-	то же
Рыбинское		3,7-45,6	-	то же
Горьковское		2,1-41,1	-	то же
Шекснинское	Шексна	2,4-17,8	-	то же
Водохранилища Волги и Камы		-	0,07-17,2	[11]
Цимлянское	Дон	3,5-52,0 (10,1)	-	данные авторов
Кубанское (Карачаево-Черкесия)	Кубань	0,6-57,5 (18,0)	0,11-2,4 (1,6)	то же
Волчихинское (Свердл. обл.)	Чусовая	5,0-54,0 (26,1)	-	то же
Чарвакское (Узбекистан)	Чирчик	4,5-60,0	-	то же
Усть-Каменогорское (Казахстан)	Иртыш	14,0	-	то же

Примечание. В скобках приведены средние значения.

Распределение содержания метана по площади акваторий. По длине практически всех исследованных водохранилищ долинного типа максимальные содержания метана фиксируются в верхней части (вершине верхнего бьефа), где поступающая речная вода наименее трансформирована. По направлению к центральной (срединной) части концентрация уменьшается до минимальных значений. В приплотинном участке содержание метана снова возрастает. Ниже плотины (нижний бьеф) концентрация метана несколько снижается, и далее вниз по течению подчиняется факторам, формирующим особенности его содержания в водотоках. Так, в Цимлянском водохранилище выявлена отчетливая тенденция уменьшения концентрации метана в направлении Калачский плес – Чирской плес – Центральный плес, то есть уменьшение концентраций газа происходит по мере удаления от верхней части водохранилища и увеличения трансформированности речных вод. В приплотинном участке содержание метана снова повышается и особенно резко в пробах воды, отобранных вблизи г. Волгодонск. Отчетливо наблюдается приуроченность более высоких содержаний газа к речным плесам.

На примере каскадных водохранилищ Волги установлено, что в самой верхней их части, то есть ниже плотины выше расположенного водохранилища, концентрации метана снижаются относительно значений фиксируемых в приплотинном участке расположенного выше водохранилища [6]. Так, речной участок Волгоградского водохранилища, расположенный ниже плотины Саратовского водохранилища, характеризовался резким падением концентраций метана до значений 1,0-2,4 мкл/л (ср. сод. 1,9 мкл/л), при этом минимальные величины определены в районе г. Вольск (1,0-1,5 мкл/л). Фактором, снижающим концентрации метана на этом участке, может являться, как огрубление осадков в русле Волги, так и недостаток органических веществ, поскольку вышерасположенные водохранилища являются прекрасными аккумуляторами для содержащейся в воде органики.

Для водной толщи большинства водохранилищ, как впрочем, и других водных объектов, характерно снижение концентрации метана при удалении от прибрежной зоны к открытой акватории, с минимальными его концентрациями в поверхностном слое воды центральных глубоководных районов, и максимальными содержаниями в речных плесах [6, 10, 12]. Такое поведение метана обусловлено следующими причинами.

Известно, что основным источником поступления метана в водную толщу являются донные отложения, образование газа в которых зависит от количества и лабильности органических веществ, а также содержания кислорода, растворенного в придонных горизонтах воды [6]. По направлению от прибрежных участков, где аккумулируется основная масса аллохтонного органического вещества,

поступившего с поверхности водосбора, и продуцируется основное количество автохтонной органики, к открытой акватории, уменьшается содержание органических веществ, увеличивается степень их минерализации, а, следовательно, снижается количество питательных субстратов для бактерий метаногенов.

Минимальные концентрации метана в поверхностных горизонтах открытых районов обусловлены тем, что по мере диффузионного переноса метана в направлении «донные отложения – придонный слой воды – поверхностный слой» уровень его содержания снижается вследствие окисления газа метанотрофными бактериями. В то же время в придонных горизонтах воды открытых акваторий водохранилищ при стагнации вод и создании анаэробных условий могут отмечаться концентрации метана, сопоставимые или даже превышающие его уровень в воде прибрежных зон.

Более высокие концентрации метана в районах впадения рек и в целом в речных плесах относительно открытых участков обусловлены активным осаждением здесь органических веществ, выносимых речными водами, к тому же, как правило, более насыщенных метаном. Повышенные концентрации метана в зонах впадения рек в зависимости от водоносности реки, морфологических особенностей и гидрологического режима устьевой области могут проследиваться как на значительные расстояния, так и резко снижаться уже на небольшом удалении от устья реки [6].

В прибрежных зонах уровень содержания метана в воде закрытых мелководий выше, чем в воде открытых [6, 12]. Особенно высокие концентрации отмечаются летом в хорошо прогреваемой мелководной прибрежной зоне с зарослями высшей водной растительности и застойным гидродинамическим режимом, в которой отлагаются алевритовые и глинистые илы [1; 13].

Отмечается увеличение количества метана вблизи населенных пунктов, и в зависимости от их расположения, водные массы с повышенными концентрациями газа приурочены либо к одному, либо к другому берегу [6, 10]. Уровень содержания метана в воде и донных отложениях таких участков напрямую зависит от мощности источников загрязнения, главным образом, органическими веществами. Наиболее высокие концентрации метана в воде и донных отложениях приурочены к районам, испытывающим сильное антропогенное воздействие, обусловленное влиянием комплекса точечных источников загрязнения городов и промышленных предприятий [6, 7, 10, 12]. Например, в среднем содержание метана в воде Шекснинского плеса Рыбинского водохранилища, более чем в 3 раза превышает его содержание в воде Центрального плеса, а в зоне непосредственного влияния промышленных сточных вод г. Череповца – в 10 раз и более [9]. Обогащение поверхностной воды метаном на антропогенно загрязненных участках, в первую очередь, происходит как за счет поступления газа в эти районы вместе с хозяйственно-бытовыми и промышленными сточными водами, так и за счет непосредственной генерации метана в донных отложениях, вследствие повышенного поступления, продуцирования и аккумуляции органических веществ, и последующей диффузии метана в водную толщу, что подтверждается тесными прямолинейными зависимостями между содержанием метана в отложениях и воде [6].

Помимо этого на некоторых участках (зарастающие мелководья, а также участки, подверженные массивированному органическому загрязнению) водохранилищ и других водных объектов даже в аэрируемой водной толще может фиксироваться образование метана с интенсивностью присущей анаэробному гипolimниону высокоэвтрофных озер [1, 6, 10, 14-17]. Вне зон антропогенного воздействия, активное образование метана в аэробной водной толще обычно фиксируется в период отмирания макрофитов и обогащения воды детритом [10]. По всей видимости, образование метана протекает внутри взвешенных в воде частиц, о чем косвенно свидетельствует достаточно тесная прямолинейная зависимость между содержанием метана в воде и количеством взвешенных веществ, особенно четко проявляемая в летний период массового развития планктона [6]. Модельные эксперименты, проведенные на евтрофном рыбноводном пруду, заполняемом из р. Дон, показали, что непосредственно в водной толще образуется до 25-30% метана, растворенного в воде. Генерация метана во взвеси обусловлена жизнедеятельностью метанобразующих бактерий, присутствующих во взвеси наряду со множеством других микроорганизмов, многие из которых обычно обитают в поверхностном слое отложений, и попадают в водную толщу при взмучивании донных осадков ветровыми перемешиваниями и течениями [18].

Распределение содержания метана по вертикали водного столба. Для большинства водных объектов, в том числе водохранилищ характерно превышение содержания метана в придонном слое воды по отношению к поверхностному (в среднем в 1,5 раза). Это обстоятельство, а также высокие коэффициенты корреляции между содержаниями метана в придонном и поверхностном слоях воды, в придонном слое воды и донных отложениях свидетельствуют о доминировании его эмиссии в водную толщу из последних. Однако на некоторых участках водохранилищ наблюдается обратная картина, когда содержание метана в поверхностном слое превышает его содержание в придонном, что может быть обусловлено, как поступлением дополнительного количества метана с поверхности водосбора, так и интенсивной генерацией метана в поверхностных горизонтах воды.

Как правило, преобладание содержания метана в поверхностном слое наблюдается в весенне-летний период в районах поступления более теплых и насыщенных метаном вод притоков [4-6, 9], а также в районах сброса хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод [6]. В последнем случае

превышение содержания метана в поверхностном слое над придонным тем больше, чем сильнее антропогенное воздействие.

Превышение концентраций метана в поверхностном слое воды относительно придонного может быть обусловлено наличием плотностного расслоения в толще воды, что приводит к уменьшению скорости оседания взвешенного вещества в слое скачка плотности. В слое скачка независимо от его природы (сезонный, синоптический или подповерхностный [19]) происходит увеличение концентрации органического вещества и биогенных элементов [20] и взвешенного вещества [21]. Следовательно, увеличивается расход кислорода на окисление органического вещества и дыхание зоо- и бактериопланктона, питающихся им [22], а, следовательно, создаются условия для активного метаногенеза в толще воды во взвешенных в воде частицах. Особенно благоприятные условия для интенсивного метаногенеза в слое скачка плотности складываются в период интенсивного цветения водохранилищ, а также при оседании большого количества автохтонного органического вещества в результате отмирания фитопланктона (например, при резком похолодании во время цветения сине-зеленых водорослей, или прекращении перемешивания во время развития диатомовых), когда возникает резкий максимум скорости потребления кислорода в слое скачка [20, 22]. При этом в изолированном придонном слое (гиполимнионе) глубоких водоемов наблюдаются наименьшие значения скорости потребления кислорода [22]. Это связано с тем, что автохтонное органическое вещество, опускаясь ко дну, успевает в значительной степени минерализоваться.

Возможным фактором превышения концентраций метана в поверхностных слоях воды, наряду с выше перечисленными, может являться ингибирующее влияние солнечного света на процесс его окисления, зафиксированное пока только в экспериментах [23], и как следствие более длительное время нахождения газа и его накопление в поверхностных горизонтах. К сказанному следует добавить, что так называемый эффект “перевернутого дна”, т.е. когда в придонном слое воды содержание метана ниже, чем в поверхностном, нередко может наблюдаться и в присутствии нефтяной пленки [24], сдерживающей эмиссию метана в атмосферу, а также в подледный период.

Сезонная изменчивость содержания метана. Наблюдения за сезонными изменениями концентраций метана в воде и донных отложениях водотоков и водоемов, в том числе водохранилищ показали [1, 4-6, 14], что, как правило, от весны к лету содержание газа возрастает.

Максимальный пик скорости образования метана и уровня его содержания приходится на июль-август – период наибольшего прогрева водохранилищ [1, 6, 12]. При этом активному генерированию метана и повышению его концентраций в воде и донных осадках способствует жаркая, сухая и безветренная погода, приводящая к стагнации вод и понижению насыщенности воды кислородом. Наиболее высокие концентрации отмечаются в закрытых и зарастающих мелководьях в период массового отмирания макрофитов, когда интенсивные процессы метаногенеза протекают не только в донных отложениях, но и в водной толще [6, 14]. Здесь вследствие мелководности разница между поверхностным и придонным слоем воды во все сезоны года по содержанию метана, как правило, незначительна. На участках удаленных от берега по вертикали водного столба в летний период может наблюдаться как возрастание метана от поверхности к придонному слою, так и, наоборот, более высокие концентрации фиксироваться в поверхностном горизонте воды, что характерно для водоемов, имеющих ярко выраженный металимниальный минимум [5, 6].

Значительное снижение скорости образования метана и его содержания в донных отложениях и воде по всей акватории водохранилища наблюдается уже в начале осени, что связано с понижением температуры, являющейся одним из основных факторов, контролирующей активность метанообразующих микроорганизмов [6, 12, 25], а, следовательно, сезонные колебания уровня содержания метана [6]. Важная роль температурного фактора подтверждается наличием достоверных корреляционных связей между интенсивностью метаногенеза и температурой [1, 6, 12, 25], а также между температурой и содержанием метана в воде и донных отложениях [1, 6]. Помимо этого уменьшение уровня содержания метана в осенний период в значительной мере обусловлено и насыщением воды кислородом, как вследствие интенсивного вертикального перемешивания водной толщи, так и увеличения его растворимости в воде при снижении температуры. Поэтому к концу осенней циркуляции концентрация метана незначительна и равномерно распределена по всему столбу воды. Исключение, по всей видимости, будут составлять водохранилища, в которых полная осенняя циркуляция захватывает не весь его объем, а лишь поверхностные слои. В последнем случае, в придонном слое воды может отмечаться существенное превышение содержания метана относительно поверхностного горизонта.

После образования ледяного покрова интенсивность вертикального перемешивания вод уменьшается, что благоприятствует оседанию на дно накопленного за вегетационный период органического вещества [26], окисление которого ухудшает кислородный режим, главным образом придонных горизонтов. Поступление органического вещества и снижение концентрации растворенного кислорода способствует увеличению интенсивности образования метана в донных отложениях. Поэтому в период зимней стагнации, как правило, более высокие концентрации метана в воде наблюдаются у дна, где нередко уровень его содержания достигает значений, характерных для лета [1, 6]. Однако в неглубоких водоемах в результате скопления у льда поступающих из донных

отложений газовых пузырьков, количество метана в поверхностном слое воды может быть выше, чем в придонном [6, 27].

Как правило, в водохранилищах долинного типа в зимний период наблюдается расслоение водной толщи [26] на основную водную массу, включающую верхний слой центрального и приплотинного районов; залегающий под ней тонкий слой речных вод, поступивших в виде придонного плотностного потока, обычно более насыщенного метаном, и расположенной ниже него в узкой и извилистой русловой ложбине придонной водной массы, состоящей из смеси обеих масс и выклинивающихся в ложе подземных вод [28], как правило, содержащих низкие концентрации метана [1].

В конце зимы – начале весеннего периода при таянии снега и льда отмечается уменьшение уровня содержания метана в воде, как за счет непосредственного разбавления талыми водами, так и насыщения придонных слоев воды кислородом, что способствует подавлению образования метана в верхних горизонтах отложений и более активному окислению газа в воде [6]. Также как и в осенний период во время весенней циркуляции градиент содержания метана между поверхностными и придонными слоями незначительный или вообще отсутствует. В некоторых водоемах его концентрация в поверхностном слое в данный период находится в равновесии с атмосферой [6].

В весенний период в результате интенсивного прогрева воды и неоднородности рельефа дна в водохранилищах и озерах возможно формирование фронта термического бара, который отделяет более нагретую воду прибрежной зоны от более холодной воды глубоководных районов. Условной границей раздела принимают изотерму 4°C. Существование фронтальной зоны обуславливает накопление первичных водных масс, формируемых преимущественно поступающими в водоем водами притоков в прибрежных районах [4, 6]. Фронт термобара окаймляет водохранилище вдоль берегов и по мере нагревания постепенно перемещается в центральные районы, а затем, когда вся водная масса приобретает температуру выше 4°C, исчезает. Считается, что термический бар является динамически устойчивым и не разрушается дрейфовыми течениями, а разделяемые им водные массы остаются изолированными друг от друга; однако, как отмечено в работе [29], обмен между ними может происходить с помощью вихревых структур. Следует добавить, что во все лимнические периоды процессами, препятствующими распространению насыщенного метаном прибрежных вод на более значительные расстояния, являются окисление метана и его эмиссия в атмосферу. При исчезновении термобара, вероятно, важную роль в снижении концентраций метана приобретает процесс разбавления первичных водных масс водами водохранилища. Таким образом, в весенний период распространению речных вод в водохранилище может препятствовать плотностной барьер (термобар), создающийся на границе теплоактивной и теплоинертной областей.

Следует отметить, что дождевые осадки в любой сезон года оказывают понижающее воздействие на концентрацию метана [1, 6], поскольку наряду со снижением температуры воды и увеличением ее насыщенности кислородом, выпадение дождевых осадков, содержащих концентрации метана, близкие к равновесным, приводит к разбавлению поверхностных вод.

Влияние уровня воды (режима сработки и наполнения) в водохранилище, как правило, выражается в увеличении концентрации метана в период минимального уровня и, наоборот, в снижении содержания газа в период половодья, характеризующегося наибольшей наполненностью водохранилища.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 12-05-00420, НШ-5548.2014.5.

Литература

1. Гарькуша Д. Н. Метан в устьевой области реки Дон / Д. Н. Гарькуша, Ю. А. Федоров. – Ростов н/Д–Москва: Ростиздат, 2010. – 181 с.
2. Гарькуша Д. Н. Метан в воде и донных отложениях устьевой области Северной Двины (Белое море) / Д. Н. Гарькуша, Ю. А. Федоров, М. И. Хромов // Океанология. – 2010. – Т. 50, № 4. – С. 534–547.
3. Федоров Ю. А. Первые данные о распределении содержания биогенного метана в воде и донных отложениях оз. Байкал / Ю. А. Федоров, А. М. Никаноров, Н. С. Тамбиева // Докл. РАН. – 1997. – Т. 353, № 3. – С. 394–397.
4. Федоров Ю. А. Влияние природных и антропогенных факторов и процессов на распределение концентрации метана в воде и донных отложениях Ладожского озера / Ю. А. Федоров, Н. С. Тамбиева, Д. Н. Гарькуша // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. – 2006. – № 5. – С. 412–424.
5. Федоров Ю. А. Метан как показатель экологического состояния пресноводных водоемов (на примере озер Валдай и Ужин) / Ю. А. Федоров, Н. С. Тамбиева, Д. Н. Гарькуша // Метеорология и гидрология. – 2004. – № 6. – С. 88–96.
6. Метан в водных экосистемах / Ю. А. Федоров, Н. С. Тамбиева, Д. Н. Гарькуша, В. О. Хорошевская. – Ростов-н/Д–Москва: Ростиздат, 2005. – 329 с.
7. Гарькуша Д. Н. Метан как индикатор условий раннего диагенеза и экологического состояния водных экосистем / Д. Н. Гарькуша, Ю. А. Федоров, Н. С. Тамбиева // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. – 2013. – № 6. – С. 78–82.
8. Авакян А. Б. Водоохранилища (Природа мира) / А. Б. Авакян, В. П. Салтанкин, В. А. Шарاپов. – Москва: Изд-во “Мысль”, 1987. – 325 с.

9. Метан в воде и донных отложениях Рыбинского водохранилища: распределение и биогеохимические особенности образования / Ю. А. Федоров, Н. С. Тамбиева, Д. Н. Гарькуша, В. О. Хорошевская // Деп. в ВИНТИ РАН 02.06.99, № 1756-В-99. – Ростов-Н/Д, 1999. – 82 с.
10. Дзюбан А. Н. Метан и микробиологические процессы его трансформации в воде верхневолжских водохранилищ / А. Н. Дзюбан // Водные ресурсы. – 2002. – Т.29, № 1. – С. 68-78.
11. Дзюбан А. Н. Численность бактерий и процессы превращения метана в донных отложениях водохранилищ Волги и Камы / А. Н. Дзюбан // Микробиология. – 1998. – Т. 67, № 4. – С. 573-575.
12. Косолапов Д. Б. Процессы образования и потребления метана в литорали Рыбинского водохранилища / Д. Б. Косолапов // Водные ресурсы. – 2002. – Т. 29, № 29. – С. 193-199.
13. Кузнецова И. А. , Дзюбан А. Н. Микробиологические процессы трансформации метана в воде мелководий Рыбинского водохранилища / И. А. Кузнецова, А. Н. Дзюбан // Микробиология. – 2005. – Т. 74, № 6. – С. 856-858.
14. Дзюбан А. Н. Интенсивность микробиологических процессов круговорота метана в разнотипных озерах Прибалтики / А. Н. Дзюбан // Микробиология. – 2002. – Т. 71, № 1. – С. 111-118.
15. Дзюбан А. Н. Метан и процессы его трансформации в воде некоторых притоков Рыбинского водохранилища / А. Н. Дзюбан // Водные ресурсы. – 2011. – Т. 38, № 5. – С. 571-576.
16. Дзюбан А. Н. , Георгиев А. Н. , Крылов А. В. , Кузнецова И. А. // Биология внутр. вод. – 1998. – № 2. – С. 44.
17. King G.M. // Adv. Microbial Ecol. – 1992. – V. 3. – P. 355.
18. Ильинский В.В. Углекислородфиксирующие микроорганизмы в прибрежных и открытых водах Можайского водохранилища: активность и вклад в процессы естественного очищения в летний период / В. В. Ильинский, О. В. Поршнева, М. Н. Семенов // Водные ресурсы. – 1998. – Т. 25, №3. – С. 335-338.
19. Ершова М. Г. Синоптическая трансформация поля плотности воды в равнинном водохранилище / М. Г. Ершова, К. К. Эдельштейн // Водные ресурсы. – 1998. – Т. 25, № 4. – С. 432-440.
20. Гашкина Н. А. Динамика фосфора и балансовая оценка его обменных процессов с дном в Можайском водохранилище в вегетационный период / Н. А. Гашкина, В. В. Пуклаков, Е. Р. Кременецкая // Водные ресурсы. – 2004. – Т. 31, № 6. – С. 702-712.
21. Виноградова Н. Н. Баланс взвешенного вещества в Можайском водохранилище / Н. Н. Виноградова // Комплексные исследования водохранилищ. – М.: Изд-во МГУ, 1973. – Вып. 2. – С. 46-49.
22. Кременецкая Е. Р. Оценка скорости потребления кислорода в толще воды Можайского и Ивановского водохранилищ / Е. Р. Кременецкая // Водные ресурсы. – 2007. – Т. 34, № 3. – С. 310-317.
23. Dynamics of methane in mesotrophic Lake Biwa, Japan / J. Murase, Y. Sakai, A. Kametani, A. Sugimoto // Ecol. Res. – 2005. – V. 20. – P. 377-385.
24. Теоретические аспекты связи метаногенеза с загрязнением воды и донных отложений веществами неорганической и органической природы / Ю. А. Федоров, Н. С. Тамбиева, Д. Н. Гарькуша // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. – 2000. – № 4. – С. 68-73.
25. Федоров Ю.А., Гарькуша Д.Н., Крукиер М.Л. Температура и ее влияние на эмиссию метана из водных объектов (по результатам экспериментального и математического моделирования) // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. – 2012. – № 6. – С. 99-101.
26. Особенности кислородного режима Можайского водохранилища в период ледостава / В. Ф. Бреховских, Н. А. Гашкина, Е. Р. Кременецкая, Д. В. Ломова. // Метеорология и гидрология. – 2003. – № 9. – С. 103-109.
27. Кузнецов С. И. Микрофлора озёр и её геохимическая деятельность / С. И. Кузнецов. – Изд. "Наука", Ленингр. отд., 1970. – 440 с.
28. Комплексные исследования водохранилищ. – М., Изд-во МГУ, 1978. – Вып. 3. – 400 с.
29. Тихомиров А. И. О термическом баре Ладожского озера / А. И. Тихомиров // Изв. ВГО. – 1963. – Т.95, № 2. – С. 134-142.

Abstract. *D. Garkusha, Yu. A. Fedorov, N. S. Tambieva* **Spatial temporal regularities of the distribution of the methane content in the reservoirs** Methane concentration in the water reservoirs occupies an intermediate position between the values of its content in the water of lakes and lowland rivers, the Association with the largest number of values in the interval 5,0-40,0 µl/l. Characterized by the decrease in the concentration of gas in water at a distance from the coastal zone to the open water area, with minimal concentrations in surface waters of the Central deep-sea areas. Its maximum concentration in water and bottom sediments are confined to areas experiencing strong anthropogenic impact. Seasonal variations in the concentrations of methane are characterized by increasing from spring to summer and decrease in autumn-winter period.

Keywords: *reservoir, water, bottom sediments, methane, distribution, seasonal dynamics*

Анотація. *Гарькуша Д. Н., Федоров Ю. А., Тамбиева Н. С.* **Просторово-часові закономірності розподілу вмісту метану у водосховищах.** Концентрація метану у воді водосховищ займає проміжне положення між величинами його вмісту у воді озер і рівнинних річок, з приуроченістю найбільшої кількості значень до інтервалу 5,0-40,0 мкл в літрі. Характерно зниження концентрації газу у воді при видаленні від прибережної зони до відкритої акваторії, з мінімальними концентраціями в поверхневому шарі води центральних глибоководних районів. Максимальні його концентрації у воді і донних відкладеннях приурочені до ділянок, що зазнають сильний антропогенний вплив. Сезонні зміни концентрацій метану, як правило, характеризуються зростанням від весни до літа і зниженням в осінньо-зимовий період.

Ключові слова: *водосховища, вода, донні відкладення, метан, розподіл, сезонна динаміка*

Поступила в редакцію 01.02.2014 г.