

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ
РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОДНЫХ РЕСУРСОВ
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ СЕВЕРА
КАРЕЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

**ВОДНЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ
ПРОБЛЕМЫ
СИБИРИ И ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ
(в четырех томах)
Т.1**

Труды III Всероссийской научной конференции
с международным участием
(28 августа – 1 сентября 2017 г., Барнаул)

Барнаул 2017

УДК 556.01 + 556.02

ББК 26.22

B623

Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии:
труды III Всероссийской научной конференции с международным участием:
в 4 т. – Барнаул, 2017. – Т. 1. – 260 с.

ISBN 978-5-9909722-1-6 (Т.1)

ISBN 978-5-9909722-9-2

В сборнике публикуются материалы III Всероссийской научной конференции с международным участием «Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии» (г. Барнаул, 28 августа – 1 сентября 2017 г.). Представленные на конференции доклады посвящены следующим направлениям: формирование водных ресурсов суши в условиях антропогенных воздействий; гидрологические, гидрофизические, экологические и биогеохимические процессы в водных объектах и на водосборах Сибири и их математическое моделирование; теоретические и прикладные аспекты экологического мониторинга природных и природно-техногенных комплексов; рациональное природопользование и охрана окружающей среды; трансграничные водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии; проблемы управления водными ресурсами Сибири и Дальнего Востока.

В данном томе опубликованы статьи, представленные на пленарных докладах и секции «Формирование водных ресурсов суши в условиях антропогенных воздействий». Издание рассчитано на широкий круг специалистов в области гидрологии, гидрохимии, гидробиологии, водной экологии, а также экологического мониторинга и рационального природопользования; преподавателей и студентов ВУЗов.

Редакционная коллегия:

Пузанов А.В., д.б.н.; Безматерных Д.М., к.б.н.; Зиновьев А.Т., д.т.н.; Кириллов В.В., к.б.н.; Винокуров Ю.И., д.г.н.; Красноярова Б.А., д.г.н.; Папина Т.С., д.х.н.; Трошкин Д.Н., к.ф.-м.н.; Рыбкина И.Д., к.г.н.

*При подготовке материалов к публикации сохранен авторский стиль изложения с минимальными редакционными правками, в основном пунктуации и орфографии.
Ответственность за содержание материалов несут авторы.*

Печатается по решению оргкомитета конференции и при финансовой поддержке гранта РФФИ № 17-05-20220.

ISBN 978-5-9909722-1-6 (Т.1)

ISBN 978-5-9909722-9-2

© Институт водных и экологических
проблем СО РАН, 2017

© Коллектив авторов, 2017

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ И ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА ОБЬ-ИРТЫШСКОГО БАССЕЙНА

Пузанов А.В., Безматерных Д.М., Винокуров Ю.И., Зиновьев А.Т.,
Кириллов В.В., Котовщиков А.В., Красноярова Б.А., Рыбкина И.Д., Дьяченко А.В.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия

e-mail: iwep@iwep.ru

Аннотация. На основе материалов многолетних исследований приведены результаты, отражающие современное состояние и тенденции изменения количества и качества водных ресурсов, особенности и проблемы функционирования водохозяйственного комплекса Обь-Иртышского бассейна.

Ключевые слова: Обь-Иртышский бассейн, река Обь, водохозяйственный комплекс, качество поверхностных вод, Телецкое озеро.

CURRENT STATE OF WATER RESOURCES AND HYDROECONOMIC COMPLEX OF THE OB-IRTYSH BASIN

Puzanov A. V., Bezmaternykh D. M., Vinokurov Yu. I., Zinoviev A. T., Kirillov V. V.,
Kotovshchikov V. A., Krasnoyarova B. A., Rybkina I. D., Dyachenko A. V.

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia

e-mail: iwep@iwep.ru

Abstract. The paper presents the results of long-term research reflecting the current state and tendencies towards changes in the amount and quality of water resources as well as the peculiarities and problems of functioning the hydroeconomic complex in the Ob-Irtysh basin.

Keywords: Ob-Irtysh basin, R.Ob, hydroeconomic complex, surface water quality, lake Teletskoye

Река Обь берёт своё начало на Алтае, длина ее от слияния рек Бии и Катунь составляет 3660 км, а от истока Иртыша (ее основного притока) – 5410 км. Площадь Обь-Иртышского бассейна (**ОИБ**), самого крупного речного бассейна в России – 2990 тыс. км². Среднемноголетний объем речного стока Оби – 403 км³/год, что соответствует слою стока в 134 мм/год. Река пересекает с юга на север территорию Западной Сибири и на всем своем протяжении, кроме истока, Обь представляет собой типично равнинную реку с малыми уклонами и широкой заболоченной долиной, достигающей местами ширины несколько десятков километров. Впадая в Обскую губу Карского моря, река образует дельту с многочисленными рукавами и островами. Иртыш берет начало в Монголии и далее пересекает территории трех государств: Китая, Казахстана, России; протяженность реки в пределах России составляет 48 % от общей длины. ОИБ охватывают практически всю Западную Сибирь, а также часть территории Казахстана и Китая. Его водосбор выходит далеко за пределы Западно-Сибирской низменности:

истоки Оби и Иртыша, их притоков находятся в горах Алтая и Саян, Урала, Казахского мелкосопочника, являясь основной зоной питания рек и подземных вод рассматриваемых территорий [1].

Для ОИБ характерны различные острые проблемы водообеспечения и водопользования. Вододефицитные районы бассейна в основном приурочены к его степной части – области замкнутого стока Обь-Иртышского междуречья и некоторым небольшим, но освоенным водосборам восточного склона Уральских гор. В противоположность этому в ряде регионов бассейна Верхней Оби актуальными являются проблемы подтоплений и наводнений. Особенно остро эти проблемы стоят в бассейнах горных и предгорных притоков. Для трансграничной реки Иртыш характерны проблемы совместного использования ее водных ресурсов Китаем, Казахстаном и Россией. Практически на всех участках равнинной части бассейна водные объекты по классификации Росгидромета относятся к «загрязненным» – «очень грязным» (р. Обь и ее основные притоки, крупные водоемы), что в основном обусловлено природными особенностями их водосборов. Однако нередки случаи сильного загрязнения поверхностных вод бассейна в районах расположения крупных горнодобывающих и промышленных производств, а также населенных пунктов (что характерно для южной части бассейна), или в районах нефтепромыслов (северная часть бассейна). В ОИБ также находятся несколько районов падения отделяемых частей ракет-носителей, запускаемых с космодрома «Байконур».

ИВЭП СО РАН на протяжении 30 лет проводит комплексные экологические исследования в ОИБ. Уже в первые годы своей работы Институт проводил комплексную экологическую экспертизу последствий реализации двух крупных гидротехнических проектов в ОИБ: Катунской ГЭС (р. Катунь, Республика Алтай) и Крапивинского гидроузла (р. Томь, Кемеровская область). Исследования в ОИБ неизменно входили в плановые (госбюджетные) задания ИВЭП СО РАН. Позднее, к числу крупных проектов также можно отнести интеграционный проект Сибирского отделения РАН №

167 «Глобальная и региональная трансформация водного и химического стока в бассейне Оби под воздействием природных и антропогенных факторов», где Институт был головным исполнителем. Одним из крупнейших прикладных проектов был выполненный по заказу Росводресурсов госконтракт «Исследование современного состояния и научное обоснование методов и средств обеспечения устойчивого функционирования водохозяйственного комплекса в бассейнах рек Оби и Иртыша» (2008-2010 гг.). Более 20 лет в рамках заданий Роскосмоса Институт проводит изучение влияния ракетно-космической деятельности на природные комплексы (включая водные объекты) в районах падения отделяемых частей ракет-носителей, запускаемых с космодрома «Байконур». В 2013-2016 гг. Институтом в рамках государственного задания были выполнены следующие научные работы по этой тематике: «Исследование внутриводоёмных процессов и динамики экосистем водных объектов Сибири, включая субарктическую зону», «Исследование современного экологического состояния реки Оби» и «Исследование процессов формирования стока и разработка информационно-моделирующих систем оперативного прогнозирования опасных гидрологических ситуаций для крупных речных систем Сибири». В настоящее время в ИВЭП СО РАН изучение ОИБ выполняются в ряде «базовых» госбюджетных проектов: «Изучение гидрологических и гидрофизических процессов в водных объектах и на водосборах Сибири и их математическое моделирование для стратегии водопользования и охраны водных ресурсов», «Биогеохимические особенности наземных экосистем в бассейнах рек Сибири и их влияние на качество природных вод» и «Пространственно-временная организация водных экосистем и оценка влияния природных и антропогенных факторов на формирование гидробиоценозов и качество поверхностных вод бассейна Оби и Обь-Иртышского междуречья».

Особенности гидрологического режима рек ОИБ обуславливают вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций в бассейне,

оцениваемую как наиболее высокую для наводнений, вызванных половодьями и паводками, равную 40 % для левых притоков р. Тобол и р. Чулым. Для рек Томь, Вах (в верхнем течении), Тобол (остальные притоки), Тавда (в среднем течении) характерна вероятность наводнений 30–40 %. Вероятность наводнений, составляющая 20–30 % характерна для р. Иртыш (ниже устья Ишима), р. Обь (район Новосибирского водохранилища), р. Вах (в среднем течении), р. Сев. Сосьва. Для остальных рек ОИБ характерна вероятность наводнений менее 20 %. Русловые процессы, выражающиеся в изменении плановых очертаний русел, вертикальных отметок дна, смещении аллювиальных форм руслового рельефа также могут сопровождаться частыми опасными проявлениями, особенно характерными для рек юга Западной Сибири. Прогноз изменения водности на основе метода линейных трендов показал, что изменение водности отдельных участков реки Обь по отношению к 2010 году составит к 2020 и 2030 гг. от –6,2 % до 5,7 % и от –12,3 % до 11,5 % соответственно [2, 3].

Ландшафтно-геохимические, биогеохимические условия и степень хозяйственного освоения водосборных бассейнов отражаются на величине стока загрязняющих веществ. Геохимическая обстановка в исследуемом бассейне варьирует от окислительной слабощелочной и щелочной в повышенных элементах рельефа до восстановительной глеевой слабокислой в пониженных, избыточно увлажненных и на участках развития слабопроницаемых пород. В условиях низкой антропогенной нагрузки качество поверхностных вод формируется за счет поступления веществ из почвенного покрова и почвенно-грунтовых вод [4].

Водохозяйственный комплекс. В ОИБ создан и функционирует мощный водохозяйственный комплекс, обеспечивающий потребности в воде населения, промышленности, сельского хозяйства, очистку сточных вод, выработку электроэнергии, судоходство, рыбный промысел, нужды рекреации, ограничение негативного воздействия вод. На его территории в пределах России расположены более 200 крупных водохранилищ объемом

свыше 1 млн м³, в том числе 11 – объемом более 100 млн м³. Среди них крупнейшими являются Новосибирское (8800 млн м³), Аргазинское (740 млн м³), Гилёвское (471 млн м³) и Белоярское (250 млн м³). Большинство водных объектов находятся в Алтайском крае (80), Кемеровской (57), Свердловской (44), Новосибирской (34) и Челябинской (8) областях. Только в бассейне Верхней Оби, по данным Верхне-Обского бассейнового водного управления, функционирует свыше 1850 водохозяйственных систем и гидротехнических сооружений, в том числе 561 ГТС водохранилищ и прудов емкостью 100 тыс. м³ и более, защитные дамбы, водозаборы, очистные сооружения, накопители и отстойники.

В 2013 г. водоотбор в бассейнах рек Обь и Иртыш на территории РФ не превышал 8 млн м³/год. За последние десятилетия в ОИБ, как и в целом по России объемы забранной воды снизились [5]. Основные потребители воды расположены в бассейнах рек Иртыш и Томь на территории Тюменской, Кемеровской и Свердловской областей, на которые приходится более 60 % общего водозабора.

Основные объемы водоотведения также приурочены к бассейнам рек Иртыш и Томь. При общем объеме сбросов сточных вод в ОИБ на уровне 6,1 км³/год (2013 г.), на территории бассейнов рек Иртыш и Томь образуется около 65 % сточных вод всех категорий, 84 % загрязненных стоков и 80 % сточных вод, не прошедших очистку. В целом объемы водоотведения сокращаются, исключение составляет бассейн Томи.

Неравномерное обеспечение населения и экономики водными ресурсами предопределило разработку в 1970-х годах многочисленных проектов внутрибассейновых и межбассейновых перераспределений речного стока. К ныне существующим внутрибассейновым переброскам водного стока относятся Кулундинский канал и Чарышский групповой водопровод. Среди других действующих межбассейновых перераспределений водного стока переброска части стока р. Камы в бассейн Тобола, каналы Иртыш-Караганда и Черный Иртыш – Карамай – Урумчи. Периодически происходит

возврат к рассмотрению ряда проектов внутрибассейновой и межбассейновой переброски. В настоящее время однозначного мнения по этим проектам не существует. Для оценки всех возможных последствий перебросок необходимо проведение комплексных исследований.

Анализ современной обеспеченности поверхностными водными ресурсами в расчете на одного жителя показал закономерное увеличение водообеспеченности с юга на север, по мере нарастания водности рек и увеличения увлажнения территории. Наиболее всего ресурсами поверхностных вод (свыше 1000 тыс. м³/чел. в год) обеспечены малообжитые северные территории, в том числе население в нижнем течении Иртыша и Оби, а также в бассейнах рек, впадающих в Обскую губу и Карское море. Менее обеспечено поверхностными водными ресурсами (5-50 тыс. м³ в год на человека) население основной полосы расселения, приуроченной к лесостепной и степной зонам, густо заселенные и интенсивно освоенные бассейны Чулыма и Томи, а также горно-таежный пояс Урала. Наименьшей водообеспеченностью отличаются территории области внутреннего стока и южная часть Уральского региона.

В целом, с учетом подземных вод, результаты оценки показывают, что в условиях катастрофически низкой потенциальной обеспеченности водными ресурсами (менее 1,0 тыс. м³/чел. в год) проживает около 130 тыс. человек, очень низкой потенциальной водообеспеченности (1-2 тыс. м³/чел. в год) – 1678 тыс. чел., низкой (2-5 тыс. м³/чел. в год) – 1477 тыс. жителей ОИБ, что суммарно составляет около 15 % общей численности населения.

Антропогенная преобразованность территории ОИБ оценена путем расчета индекса антропогенной преобразованности (ИАТ) с использованием методики А.Г. Исаченко [6], которая основывается на расчете площадей, занятых различными модификациями ландшафтов, с использованием данных Росреестра по категориям земель и видам земельных угодий и отражает пространственную характеристику воздействия населения и его хозяйственной деятельности на территорию водосборного бассейна и,

опосредованно, на сам водный объект. Наиболее высок ИАТ (рис. 1) в степных и южных лесостепных районах бассейна (Алтайский край, юг Курганской, Новосибирской и Омской областей) с развитым сельским хозяйством и высокой распаханностью, а также в городских и пригородных районах, где индекс преобразованности достигает 60 % и более. Наиболее низкий – в северной части бассейна (таежной, лесотундровой и тундровой природных зонах, в автономных округах – ХМАО и ЯНАО и на севере Омской, Томской и Тюменской областей).

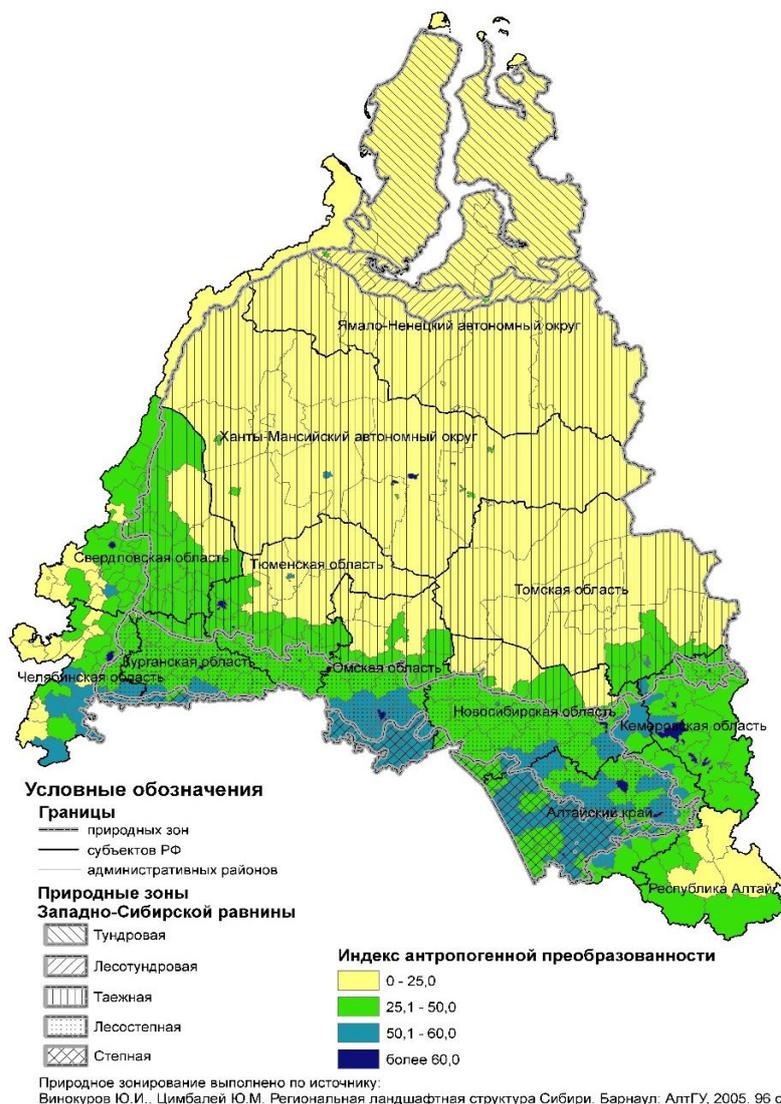


Рис. 1 – Антропогенная преобразованность территории Обь-Иртышского бассейна [7]

В горных регионах наблюдается ситуация двух типов. На Алтае, Салаире и Кузнецком Алатау антропогенная преобразованность невысока, основной вид использования территории – сенокосы и пастбища. Иная ситуация сложилась в регионах Зауралья и Кузнецкой котловине,

отличающихся высоким удельным весом антропогенно преобразованных и нарушенных земель, концентрацией предприятий горнодобывающего комплекса, формирующих территории и локусы экологического неблагополучия (это прежде всего территории крупных городов и промышленных узлов), в первую очередь нуждающиеся в санации и оздоровлении.

Трансграничный характер Иртыша и его притоков Ишима и Тобола также в значительной мере определяет экологическую ситуацию в бассейне. Остаются нерешенными вопросы институционального регулирования водопользования в межнациональных и межрегиональных сегментах водохозяйственной системы бассейна. Нет согласованных лимитов вододеления, что особенно актуально в маловодные годы и сезоны; нет и жестко согласованных графиков попусков трансграничных вод с учетом безопасного функционирования имеющихся ГТС и водохозяйственных систем; отсутствует или низка технологическая дисциплина водопользования на предприятиях – основных потребителях водных ресурсов и в жилищно-коммунальных хозяйствах крупных городов; велики потери водных ресурсов в открытых водоемах и каналах.

Экспедиционные исследования 2016 г. В соответствии с планом экспедиционных исследований на научно-исследовательских судах Федерального агентства научных организаций России на 2016 г. ИВЭП СО РАН впервые за последнее десятилетие выполнены комплексные экспедиционные водно-экологические исследования в бассейне реки Оби с использованием научного флота. Основной целью экспедиции было изучение пространственной неоднородности гидрологических, гидрохимических и гидробиологических характеристик речной системы Оби и связанных с ней крупных водоемов, а также характеристик стока и влияния поймы [8].

В 2016 г. было проведено 3 экспедиции на различных участках *р. Оби* (от г. Бийск до г. Салехард) и Новосибирского водохранилища и 5 экспедиций на Телецком озере (рис. 2). В экспедициях было задействовано 2

судна: 1) на Оби (и Новосибирском водохранилище), 2) на Телецком озере. На р. Оби более подробно изучался ее верхний участок – от г. Бийска до г. Камня-на-Оби и Новосибирское водохранилище. Был получен массив актуальных данных о характеристиках русла (плановая конфигурация, морфометрия) и гидравлических характеристиках речного потока (скорости течения, расходы воды, продольные уклоны водной поверхности, пропускная способность русловых разветвлений и пойменных проток), собранный в опорных створах, рассредоточенных по протяжению русла реки, в целях уточнения одномерной горизонтальной компьютерной модели течений в системе русел Верхней Оби. Это необходимо для увеличения достоверности прогнозирования чрезвычайных гидрологических явлений. Получены актуальные гидрофизические, гидрохимические и гидробиологические данные, необходимые для оценки современного экологического состояния р. Оби. На рисунках 3-6 приведены некоторые из этих показателей.

По многолетним данным выявлено, что разнообразие природных и антропогенных факторов обуславливает значительную вариабельность содержания химических веществ в природных водах (от низкого, до превышающего ПДК). По условиям самоочищения за счет разбавляющей способности, интенсивности трансформации загрязняющих веществ, температуры и цветности воды, уровня развития планктона и бентоса, а также по содержанию растворенного в воде кислорода, биогенных и органических веществ, результатам биоиндикации р. Обь в период открытой воды на всем протяжении характеризуется высокими потенциалом и интенсивностью самоочищения; наблюдается снижение интенсивности самоочищения в подледный период, особенно в условиях поступления с заболоченного водосбора на участке Средней Оби вод [9]. Содержание легкоокисляемых органических веществ (по БПК₅) в 2016 г. достигало наиболее высокого значения в устье притоков.

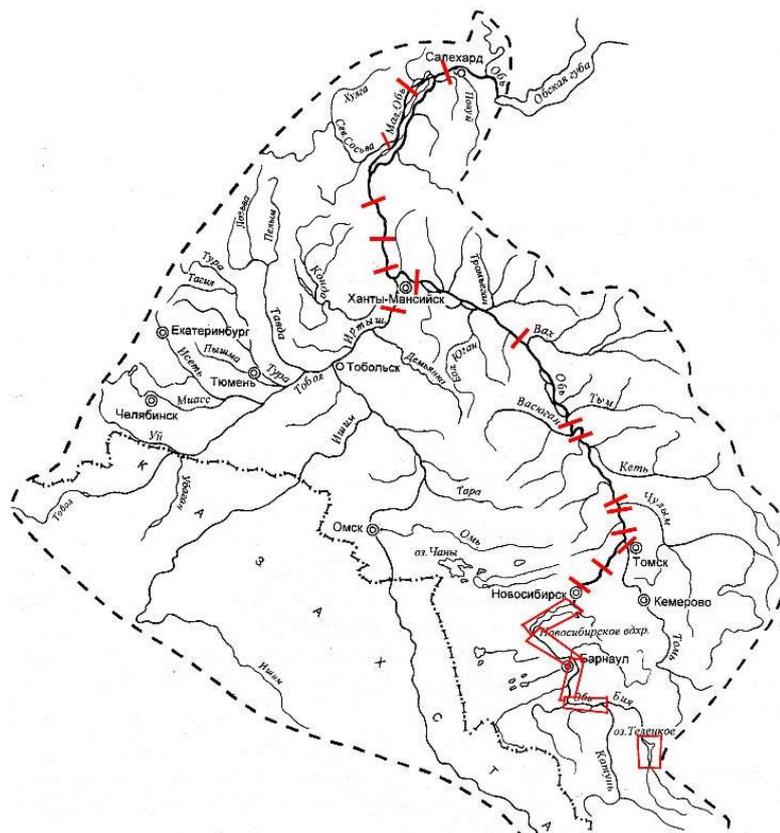


Рис. 2 – Исследованные в 2016 г. участки ОИБ (выделены красной линией)

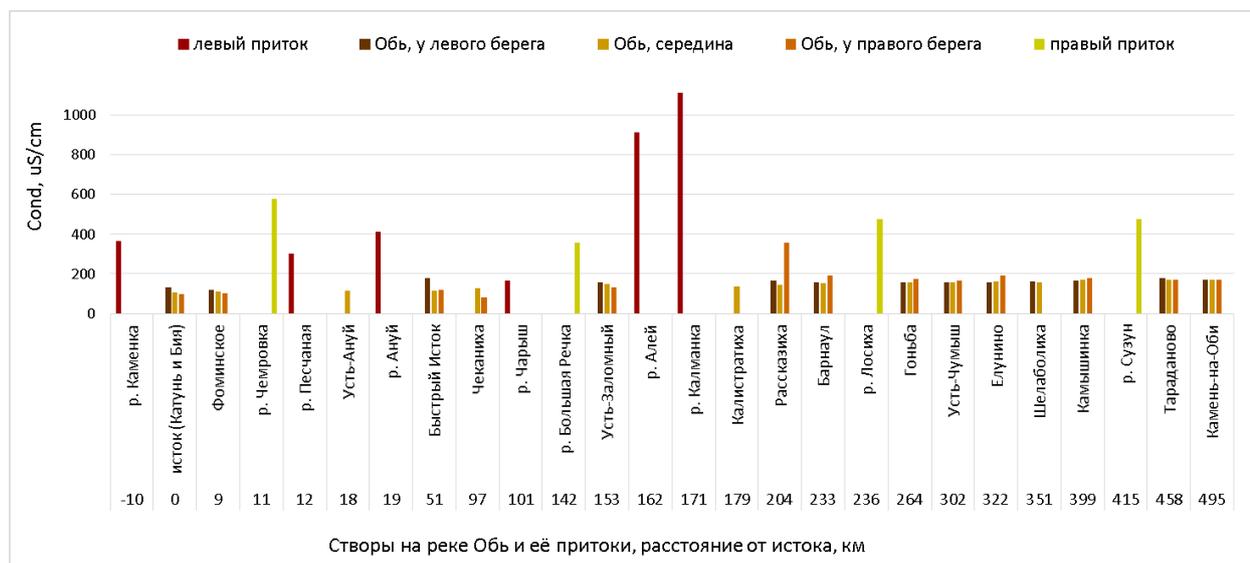


Рис. 3 – Электропроводность воды р. Обь и её основных притоков 22 июля – 6 августа 2016 г.

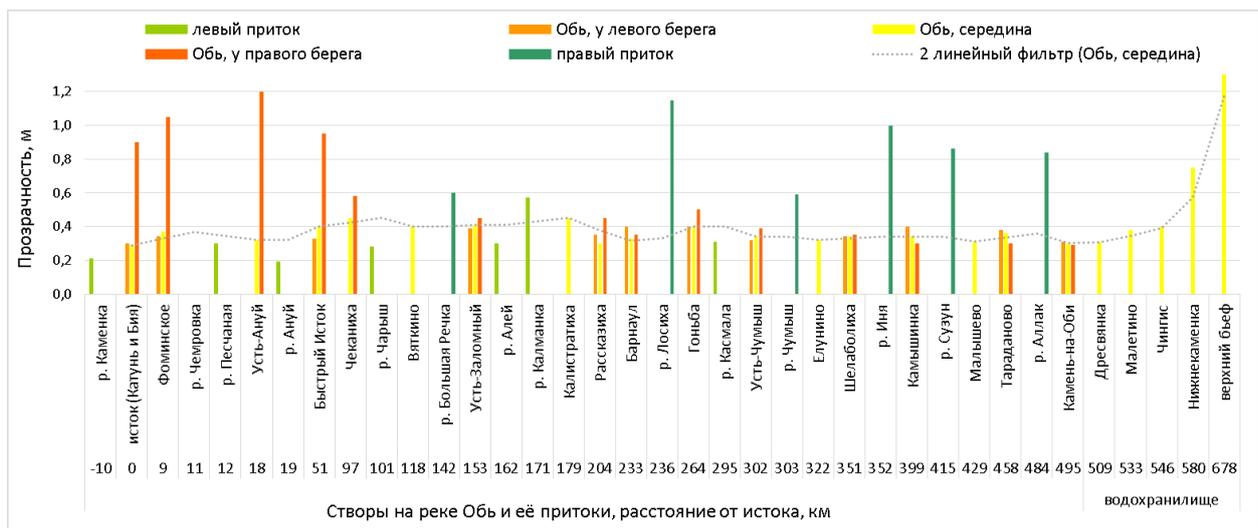


Рис. 4 – Прозрачность воды р. Обь и её основных притоков 22 июля – 6 августа 2016 г.

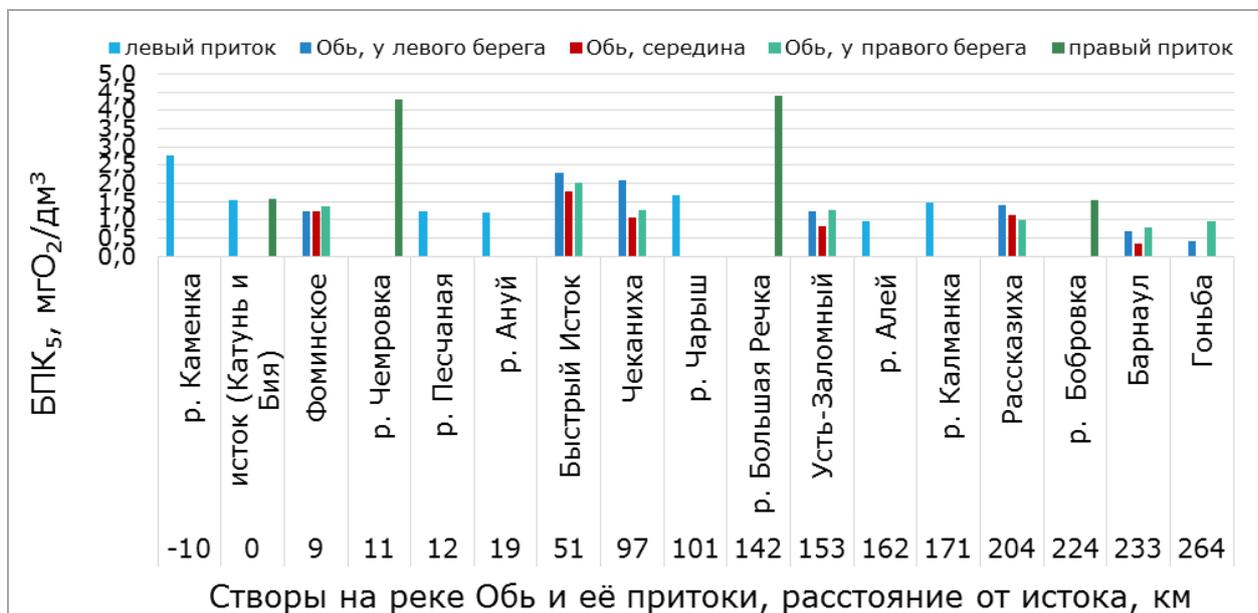


Рис. 5 – Показатели БПК₅ в воде реки Обь и её основных притоков 26 мая – 5 июня 2016 г.

Максимальные уровни развития фитопланктона в р. Оби, как свидетельствует содержание хлорофилла *a*, отмечаются на участках ниже поступления стоков г. Новосибирска и ниже впадения р. Томь, а также ниже впадения крупнейших притоков – Чулым и Иртыш. Минимумы наблюдаются в средней части зарегулированного участка реки, а также под влиянием притоков с заболоченными водосборами (Кеть, Васюган). В целом, в реке Обь практически на всем протяжении поддерживается высокий уровень развития фитопланктона, что указывает на высокий трофический статус и самоочищающую способность реки.

В ходе выполнения экспедиционных работ на *Телецком озере* с использованием современного измерительного оборудования получены подробные гидрофизические, гидрологические и гидрохимические характеристики водоема и уточняющая информация о таксономическом составе, структуре и функционировании водных сообществ. По результатам выполненных гидрохимического и гидробиологического анализов дана оценка современного состояния экосистемы озера. Дана биогеохимическая оценка почв Прителецкой тайги как важного фактора формирования качества воды, охарактеризован макрокомпонентный (гидрокарбонаты, сульфаты, хлориды, кальций, магний и др.) и микроэлементный (железо, марганец, медь, цинк, свинец, кадмий) состав вод основных притоков озера. Установлено, что существенная часть металлов в поверхностных водах транспортируется в составе взвеси.

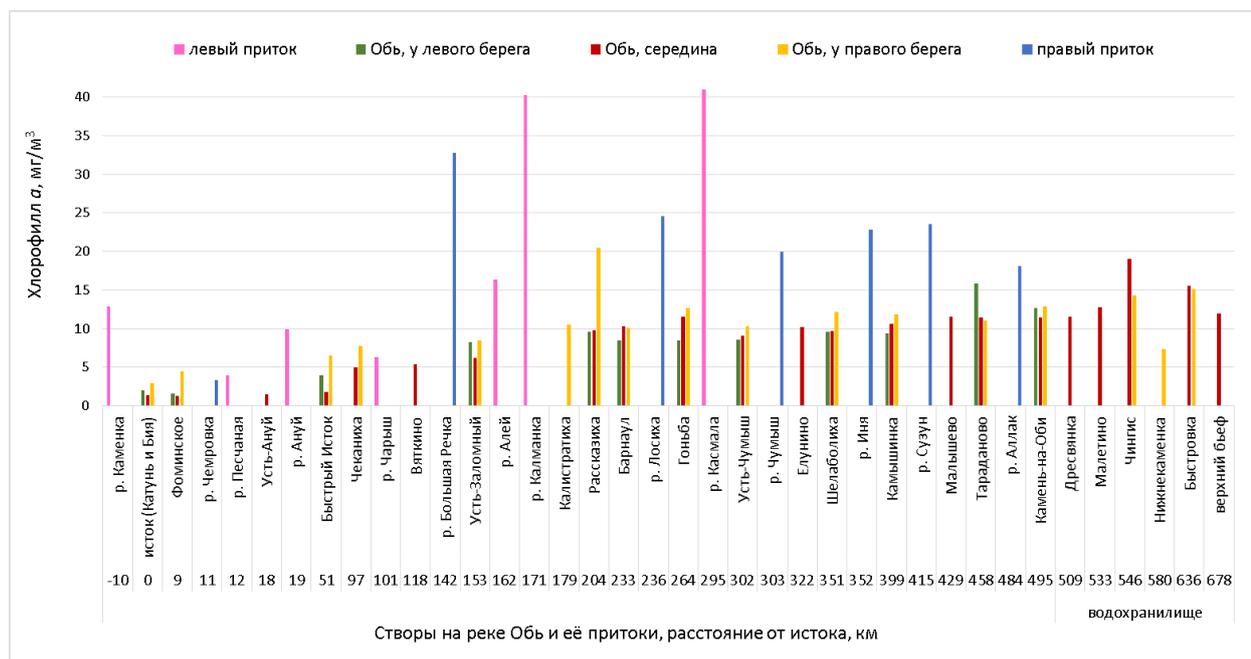


Рис. 6 – Содержание хлорофилла *a* фитопланктона в р. Обь, её основных притоках и Новосибирском водохранилище 22 июля – 8 августа 2016 г.

Для Телецкого озера ИВЭП СО РАН разработана программа научных исследований по оценке и прогнозу состояния его уникальной экосистемы в связи с возросшим уровнем антропогенной нагрузки и изменениями климата. Эта программа разработана в связи с Годом экологии в России и во исполнение поручений Президента Российской Федерации. В результате

выполнения данной программы планируются выполнить анализ современного состояния и перспектив развития водохозяйственного комплекса и экономики в целом бассейна озера. Также планируется выполнить оценку современного состояния экосистем озера и его водосборного бассейна, а также оценить возможные изменения экологического состояния озера в связи изменениями климата, увеличением антропогенной нагрузки и с планируемым социально-экономическим развитием в его бассейне.

Также помимо выше представленной программы ИВЭП СО РАН принимал участие в разработке Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации приоритетного проекта «Сохранение Телецкого озера». Этот проект должен включать комплексную оценку состояния экосистемы бассейна и акватории озера (сравнительный анализ основных гидрофизических, гидрологических, гидрохимических, биогеохимических и гидробиологических характеристик экосистемы), инвентаризацию главных источников опасности для экосистемы озера, а также выполнение ряда других мероприятий, направленных на сохранение этого уникального водоема.

Таким образом, многолетнее функционирование в ОИБ крупнейших в России радиохимических, угледобывающих, металлургических, нефтехимических, нефте- и газодобывающих производств привело к локальному загрязнению вод и донных отложений рек, озер, болот и искусственных водоемов, подземных горизонтов. Однако благодаря высокому потенциалу самоочищения крупных рек и водоемов это негативное воздействие не распространяется на большие бассейны.

В 2017 г. продолжается изучение межгодовой и многолетней динамики основных показателей, характеризующих экологическое состояние реки Оби (включая Новосибирское водохранилище) и Телецкого озера. Будет

продолжено изучение современных тенденций развития водохозяйственного комплекса ОИБ.

Работа выполнена при поддержке СО РАН (проект П.2П/IX.134-1 «Исследования современного экологического состояния реки Оби»), ФАНО (Сводный план экспедиционных исследований на научно-исследовательских судах), а также Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук.

Литература

1. Современное состояние водных ресурсов и функционирование водохозяйственного комплекса бассейна Оби и Иртыша / Ю.И. Винокуров, А.В. Пузанов, Д.М. Безматерных и др. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. – 236 с.
2. Винокуров Ю.И., Пузанов А.В., Атавин А.А., Безматерных Д.М., Зиновьев А.Т., Кириллов В.В., Красноярова Б.А., Папина Т.С., Ротанова И.Н., Цимбалей Ю.М. Научное обеспечение устойчивого функционирования водохозяйственного комплекса бассейнов крупных рек (на примере Обь-Иртышского бассейна) // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов: Матер. III всерос. конф. с междунар. участием (Барнаул, 24-28 августа 2010 г.). – Барнаул: Изд-во АРТ, 2010. – С. 504-507.
3. Винокуров Ю.И., Пузанов А.В., Безматерных Д.М., Галахов В.П., Зиновьев А.Т., Кириллов В.В., Красноярова Б.А., Папина Т.С., Цимбалей Ю.М. Проблемы формирования и рационального использования водных ресурсов Обь-Иртышского бассейна // XIV Съезд Русского географического общества (11-14 декабря 2010, г. С.-Петербург). Книга 3. Климат, Мировой океан и воды суши. – СПб., 2010. – С. 135-138.
4. Пузанов А.В., Винокуров Ю.И., Безматерных Д.М., Атавин А.А., Зиновьев А.Т., Кириллов В.В., Красноярова Б.А., Ловцкая О.В., Папина Т.С., Рыбкина И.Д. Водные ресурсы и водохозяйственный комплекс Обь-Иртышского бассейна // Водные ресурсы Центральной Азии и их использование: матер. международ. науч.-практ. конф. – Алматы, 2016. – Т. 1. – С. 388-394.
5. Рыбкина И.Д., Стоящева Н.В., Губарев М.С., Орлова Е.С., Седова Е.Ю. Особенности водопользования в регионах Обь-Иртышского бассейна // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. – 2016. – № 4 (43). – С. 19-29.
6. Исаченко А.Г. Введение в экологическую географию: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2003. – 192 с.
7. Красноярова Б.А., Шарабарина С.Н., Гармс Е.О. Антропогенная преобразованность территории Обь-Иртышского бассейна: некоторые результаты оценки // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. – 2016. – № 1. – С. 15-20.
8. Пузанов А.В., Безматерных Д.М., Винокуров Ю.И., Кириллов В.В., Зиновьев А.Т., Рождественская Т.А., Котовщиков А.В., Дьяченко А.В. Оценка современного экологического состояния реки Оби // Экологический риск: Матер. IV Всерос. конф. с междунар. участ. (г. Иркутск, 18-21 апреля 2017 г.). – Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2017. – С. 49-51.
9. Кириллов В.В., Безматерных Д.М., Яныгина Л.В., Третьякова Е.И., Кириллова Т.В., Котовщиков А.В., Ермолаева Н.И. Факторы и показатели самоочищения реки Оби // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов: Матер. III всерос. конф. с междунар. участием (Барнаул, 24-28 августа 2010 г.). – Барнаул: Изд-во АРТ, 2010. – С. 137-140.

ПАЛЕОЛИМНОЛОГИЧЕСКИЕ И ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ

Субетто Д.А.

*Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск,
Россия*

e-mail: subetto@mail.ru

Аннотация. Донные отложения озер являются одними из самых детальнейших геологических архивов, в которых сохранена информация о прошлых природно-климатических обстановках регионального и планетарного уровня с разрешением от тысячелетий и столетий до года. В статье приводятся сведения о современном состоянии палеолимнологических и палеоэкологических исследований в северной Евразии.

Ключевые слова: палеолимнология, палеоэкология, север Евразии, озера, донные отложения

PALEOLIMNOLOGICAL AND PALEOECOLOGICAL STUDIES IN THE NORTHERN EURASIA

Subetto D.A.

*Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre of Russian Academy of Sciences,
Petrozavodsk, Russia*

e-mail: subetto@mail.ru

Abstract. Lake bottom sediments is a detailed geological archive, which let us to receive an information about the past climate and environmental changes. The results of paleolimnological studies in the north-western part of the European Russia and in the northern Siberia are presented in the paper.

Keywords: paleolimnology, paleoecology, northern Eurasia, lakes, bottom sediments

В последние годы значительно вырос интерес к палеолимнологическим и палеоэкологическим исследованиям Северного полушария, что вызвано, в первую очередь, проблемой глобального изменения климата и связанных с этим возможных трансформаций наземных и водных экосистем, особенно в высоких широтах. В приполярных областях Северного полушария располагается огромное количество озер различного генезиса и морфометрии, заархивировавших в своих донных отложениях подробную информацию об изменениях климата и ландшафтов в плейстоцене и голоцене. Суммарная площадь озер Севера может быть оценена как поверхность, превышающая 80×10^3 км². Среди них преобладают озера ледникового и термокарстового генезиса.

Долгое время озера полярных регионов из-за своего труднодоступного географического положения были слабо изучены. Начало палеолимнологическим и палеоэкологическим исследованиям в Арктике и Антарктике было положено учеными Арктического и антарктического научно-исследовательского института Росгидромета в 1960-1970 гг. Позже, в

1980-е годы проводились исследования в рамках проекта «История озер СССР» Институтом озероведения АН СССР, Якутским государственным университетом имени М.К. Аммосова (в настоящее время Северо-восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова), Институтом географии АН СССР и другими смежными институтами и университетами. В рамках этого проекта были изучены ряд озер Кольского полуострова, Большеземельской тундры, п-ова Таймыр, Якутии и других северных регионов нашей страны [3].

В последние десятилетия развернулись активные научно-исследовательские работы по изучению стратиграфии донных отложений озер Севера Евразии и реконструкции палеогеографических, палеоэкологических и палеоклиматических обстановок прошлого учеными различных учреждений России при участии зарубежных коллег. Следует отметить такие международные проекты, как «Озеро Эльгыгытгын», «Озера Сибири», «ПЛОТ» и др., в рамках которых проводятся палеолимнологические исследования в северных районах Евразии (рис. 1). В настоящее время в уникальном озере метеоритного происхождения Эльгыгытгын вскрыты отложения, послойное изучение которых позволило реконструировать изменения климата и природных обстановок на протяжении 3,6 млн. лет [6].

В настоящее время ведутся широкомасштабные палеолимнологические исследования в Якутии [4, 5, 6, 7, 8]. Республику Якутия без преувеличения можно назвать одним из самых озерных субъектов Российской Федерации. В ее пределах находится более 700 тысяч озер. Подавляющее большинство водоемов характеризуется небольшими размерами (менее 1 км²) и только 32 озера имеют площадь более 50 км² каждое, 10 из них — более 100 км². Наибольшее сосредоточение озер, в том числе и крупных, наблюдается на северо-востоке республики, в пределах Яно-Индибирской, Абыйской (Среднеиндибирской) и Колымской низменностей. Более других распространены озера с котловинами термокарстового генезиса, данный тип преобладает в равнинных и низменных районах Центральной и Северной Якутии; также представлены карстовые, ледниковые, тектонические, водно-эрозионные и водно-аккумулятивные и другие типы водоемов.

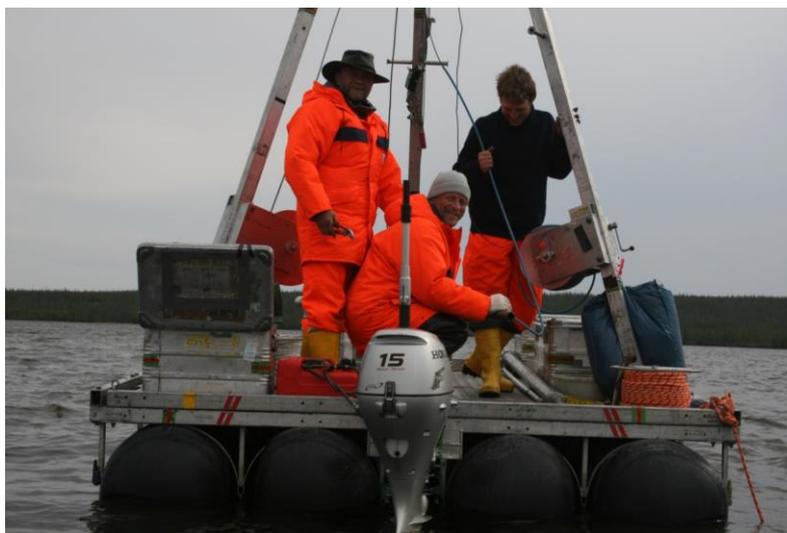


Рис.1 – Отбор кернов донных отложений с плавучей платформы на оз. Кютюнда, северная Якутия, 2010 г.

С целью выявления изменения экологических условий и реконструкции климатических характеристик прошлого озер Индигирской низменности была организована палеолимнологическая экспедиция на озере Сутуруоха в рамках проекта РФФИ (№15-45-05063 р_восток_a) в августе 2015 г. Озеро расположенного в районе Ресурсного резервата «Сутуруоха» на водосборном бассейне реки Сутуруоха — левого притока реки Индигирки (Абыйский район, Республика Саха (Якутия)). Территория бассейна реки Индигирки в палеолимнологическом и палеогеографическом аспектах совершенно не изучена. Впервые выполнены батиметрическая съемка озера Сутуруоха, геоботаническое описание водосборного бассейна и сбор гидробиологического материала (фитопланктон, зоопланктон и зообентос) озера. Впервые для территории бассейна реки Индигирка получены ненарушенные керны донных отложений охватывающих временной интервал поздний неоплейстоцен-голоцен.

Новые оригинальные данные совместно с немецкими и якутскими коллегами получены в рамках проекта «Озера Сибири» по изучению истории озер Якутии, таких, например, как Биллях, Сатагай и др., история которых охватывает временной интервал до 30-40 тыс. лет [5]. Установлено, например, что накопление донных отложений в оз. Биллях, расположенного в районе Верхоянского хребта, идет непрерывно не менее 40 тыс. лет, что

свидетельствует об отсутствии в исследуемом регионе значительных ледниковых шапок в максимум последнего оледенения. Получена детальная картина динамики климата и природных обстановок в голоцене для северо-восточной Сибири и выявлены изменения характера озерного органонакопления в зависимости от солнечной активности [4, 5, 9].

Последние десятилетия активно проводятся палеолимнологические исследования на европейском севере России, включающие в себя реконструкции природно-климатических обстановок в послеледниковое время, динамики уровня крупных бассейнов по периферии Балтийского кристаллического щита, выявление причин и механизмов резких климатических изменений на границе плейстоцена и голоцена [2]. Исследованы донные отложения разновысотных озер Карельского берега Белого моря и Соловецкого архипелага, позволившие реконструировать динамику изменения уровня Белого моря в послеледниковое время. С 2005 г. на протяжении нескольких лет проводились палеолимнологические исследования на Соловецком архипелаге с целью реконструкции динамики палеоуровня Белого моря в голоцене. В 2014 году палеолимнологические работы были продолжены уже на Онежском полуострове Белого моря, где были выполнены исследования разреза на мысу Вейнаволок и озер и болот в губе Конюховской. Данные о возрасте этих болот, в сочетании с результатами датирования озерных отложений, позволят детально реконструировать хронологию перемещений береговой линии Белого моря в районе Онежского полуострова (рис. 2).

Аналогичные палеолимнологические исследования с целью реконструкции динамики уровня воды были выполнены для Балтийского моря в районе Финского залива и для Ладожского озера [2].

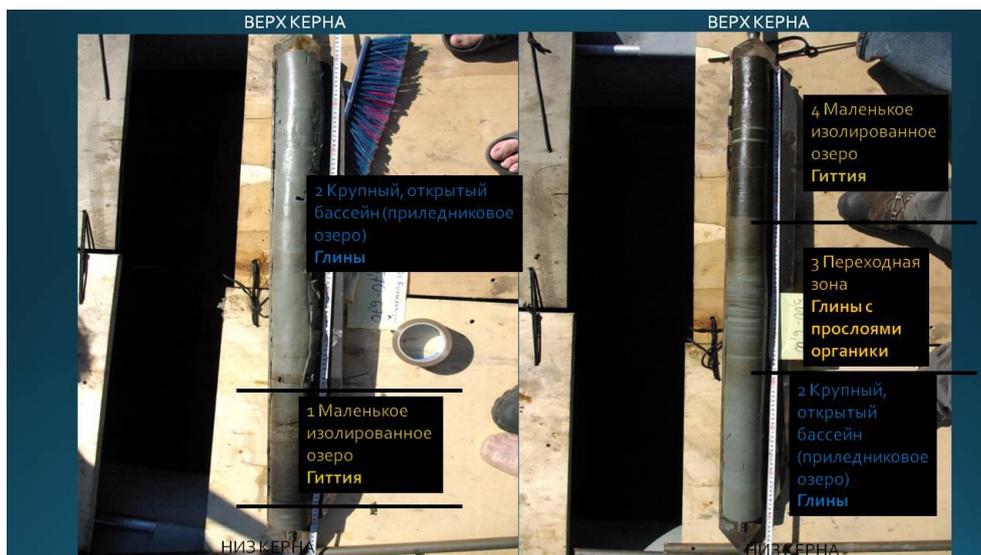


Рис. 2 – Фотографии кернов донных отложений оз.Конюховского (Онежский п-ов Белого моря) с описанием их строения и условиями формирования

В начале 2000-х годов были проведены исследования донных отложений озера Медведевского на территории Карельского перешейка (Ленинградская область) с целью реконструкции изменений палеоклимата, природных обстановок и выявления возможных геохимических и минералогических следов извержений исландских и центрально европейских вулканов на рубеже позднего плейстоцена и голоцена. Позже, донные отложения этого озера стали объектом изучения содержания редкоземельных элементов - маркеров возможного падения и взрыва крупного космического болида около 12900 лет назад на Лаврентийский ледниковый щит в Северной Америке [1].

На нашей планете регулярно происходят разной силы и размаха природные катастрофы, такие как землетрясения, цунами, извержения вулканов, падение метеоритов, сильные паводки, наводнения и др. события, влияющие на жизнедеятельность человека. Для того чтобы лучше понимать причинно-следственные связи тех или иных катастрофических природных событий необходимо владеть информацией об аналогичных явлениях в прошлом. Переход от холодных, арктических условий позднего плейстоцена к теплым и влажным голоцена в Северном полушарии произошел около 11000 календарных лет назад и привел к серьезным палеогеографическим

изменениям и, соответственно, к смене характера озерного осадконакопления.

Резкое изменение климата в позднем плейстоцене (позднелдриасовое похолодание) преимущественно связывается с резким ослаблением термогалинной циркуляции в результате массового поступления пресной воды в северную Атлантику, что, в итоге, привело к значительному уменьшению солености глубоководных частей океана.

Относительно недавно появилась гипотеза, связывающая позднелдриасовое похолодание с метеоритным ударом. Согласно этой гипотезе, незадолго до начала похолодания, около 12900 календарных лет назад, крупный болид (диаметром до 4 км) взорвался над Лаврентийским ледниковым щитом Северной Америки. Последствия этого катастрофического события (т.н. «импактная зима») могли привести к резкому изменению климата. Предположение о внеземной причине похолодания в позднем лдриасе вызвало широкую дискуссию, всё еще не давшую ответа на вопрос о возможном метеоритном ударе около 12900 лет назад. Содержание и особенности распределения микроэлементов в позднелдпейстоценовых осадках оз. Медведевского указывают на присутствие здесь материала из источников, не характерных для озерных отложений региона (рис. 3). Можно предположить, что донные отложения исследованного озера содержат микрочастицы, образовавшиеся в результате метеоритного удара, произошедшего около 12900 лет назад. Поскольку обогащение осадков оз. Медведевского маркирующими микроэлементами очень незначительно, можно предположить, что территория северо-запада России, вероятно, является наиболее удаленным восточным регионом распространения переносимого воздушным путем материала, образовавшегося в результате позднелдпейстоценового метеоритного удара. Кроме того, осадки оз. Медведевского, помимо обнаруженного ранее прослоя вулканического пепла Ведде (влк. Катала, Исландия. Извержение около 12000 лет назад) [2], предположительно содержат вулканический материал, образованный в результате извержения вулкана Лаахер-Зее

(Германия, извержение около 12900 лет назад) и, возможно, некоторых других позднеплейстоценовых вулканов Западной Европы и/или Исландии [1].

Последние два года ведутся активные палеолимнологические исследования на двух крупнейших европейских озерах - Ладожском и Онежском с огромным общим водосборным бассейном 258000 км² и с общим объемом воды почти 1200 км³. Эти исследования ведутся в рамках двух крупных проектов: (1) международного проекта ПЛОТ (Палеолимнологический трансект), в котором принимают участие ученые из различных российских и немецких научно-исследовательских институтов и университетов (ААНИИ, ИВПС РАН, СПбГУ, ИНОЗ РАН, университет Кельна, институт полярных и морских исследований им. А.Вегенера и др.) и гранта РФФИ 14-17-00766 «Онежское озеро и его водосбор: история геологического развития, освоение человеком и современное состояние». В рамках проекта ПЛОТ в 2013 г. были получены два непрерывных керна мощностью до 23 метров с глубины 100 м в северной части Ладожского озера, вскрывших позднеплейстоценовые и голоценовые озерные, озерно-ледниковые и ледниковые отложения и, возможно, морские отложения эемского (мгинского) межледниковья. К настоящему времени построены карты рельефа водосбора и дна Онежского озера и выполнены ГИС реконструкции развития озера со времени его дегляциации (рис. 4).

В настоящее время с целью систематизации данных о генезисе озер Восточно-Европейской равнины разрабатывается и наполняется база данных PaleoLake, в которой анализируются сведения об изученных палеолимнологическими методами озерах [3]. Аналогичные исследования ведутся и в Европе, и на Американском континенте, о чем свидетельствуют последние публикации [3, 9]. Структура метабазы данных включает в себя следующую информацию: наименование озера, географическое положение (географические координаты; регион, в котором озеро расположено), морфометрические показатели (глубина средняя, глубина максимальная, площадь, объем) высота над уровнем моря, происхождение котловины, донные отложения (пробоотбор, тип материала, мощность отложений), виды

проводимых с образцами анализов (литологический, диатомовый, геохимический, спорово-пыльцевой), методы датирования (валовый радиоуглеродный анализ, AMS-спектрометрия и пр.), а также интервал времени осадконакопления).

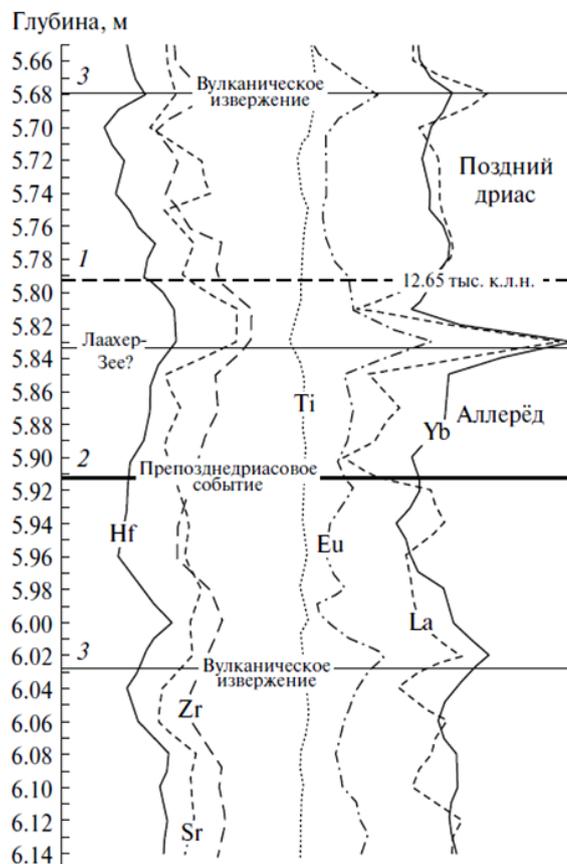


Рис. 3 – Схема распределения некоторых «вулканических» элементов в осадках оз. Медведовское. Распределение микроэлементов показано схематически, а не в абсолютных концентрациях [1]

Кроме того, база данных содержит библиографические источники, которые были использованы в работе. В настоящее время в базе данных представлены сведения о более чем 200 озерах. На данный момент информация обо всех необходимых параметрах имеется для достаточно малого количества озер. По разным причинам те или иные характеристики отсутствуют, в частности, из-за недостаточной изученности озерных систем. База данных дополняется новыми сведениями об уже учтенных в ней озерах (по мере поступления), и вносятся данные о других озерах, которые ранее не были представлены в ней. В дальнейшем планируется расширение базы данных и создание на ее основе интерактивной карты-справочника. Анализ

современного состояния палеолимнологической и палеоэкологической изученности севера Евразии представлен в публикации [3].



Рис.4 – Пример ГИС-реконструкции одного из этапов формирования Онежского озера около 14000 лет назад во время освобождения котловины ото льда валдайского оледенения. Стрелка указывает направление стока (Субетто и др., в печати)

Дальнейшие изучения донных отложений озер севера Евразии позволит подробнее реконструировать гидроклиматические и палеоэкологические условия прошлого, динамику озер и процессы их дальнейшей эволюции, динамики береговой линии морей Арктики и спрогнозировать вероятные изменения природной среды в будущем [3].

Исследования выполняются в рамках проектов фундаментальных научных исследований ИВПС КарНЦ РАН «Эволюция озерно-речных систем Севера России. Палеолимнологические и экологические закономерности функционирования водных экосистем Севера России», частично проекта РНФ 14-17-00766 «Онежское озеро и его водосбор: история геологического развития, освоение человеком и современное состояние», проектов РФФИ №16-05-00727 «Внезапные кардинальные перестройки гидрографической

сети и ландшафтов в голоцене на юго-востоке Балтийского щита (палеогидрологический и геодинамический аспекты)», №15-45-05063 р_восток_а «Палеоэкологические исследования голоценовой истории озер бассейна реки Индигирка», № 13-05-41457 РГО_а «Природные катастрофы в позднем плейстоцене и голоцене: палеогеографическая диагностика» и др.

Литература

1. Андроников А.В., Субетто Д.А., Лауретта Д.С., Андроникова И.Е., Дросенко Д.А., Кузнецов Д.Д., Сапелко Т.В., Сырых Л.С. Поиск следов метеоритного удара: особенности распределения микроэлементов в позднплейстоценовых осадках оз. Медведевского (Карельский перешеек, Россия) // Доклады Академии Наук. – 2014. – №1. – С. 69-73.
2. Субетто Д.А. Донные отложения озер: палеолимнологические реконструкции // Научная монография. – СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2009. – 339 с.
3. Субетто Д.А., Назарова Л.Б., Пестрякова Л.А., Сырых Л.С., Андроников А.В., Бискаборн Б., Дикманн Б., Кузнецов Д.Д., Сапелко Т.В., Греков И.М. Палеолимнологические исследования в российской части северной Евразии: обзор // Сибирский экологический журнал. – 2017. – №4 (в печати).
4. Biskaborn B.K., Subetto D.A., Savelieva L.A., Vakhrameva P.S., Hansche A., Herzschuh U., Klemm J., Heinecke L., Pestryakova L.A., Meyer H., Kuhn G., Diekmann B. Late Quaternary vegetation and lake system dynamics in northeastern Siberia: Implications for seasonal climate variability // Quaternary Science Reviews. – 2016. – V. 147, – P. 406-421.
5. Diekmann B., Pestryakova L., Nazarova L., Subetto D., Tarasov P.E., Stauch G., Thiemann A., Lehmkuhl F., Biskaborn B.K., Kuhn G., Henning D., Müller S. (2017): Late Quaternary Lake Dynamics in the Verkhoiansk Mountains of eastern Siberia: Implications for Climate and Glaciation History // Polarforschung. – 2017. – 86(2). – P. 97-110.
6. Melles M., Brigham-Grette J., Nowaczyk N.R., Wennrich V., De Conto R.M., Anderson P.M., Andreev A.A., Coletti A., Cook T.M., Haltia-Hovi E., Kukkonen M., Lozhkin A.V., Rosen P., Tarasov P., Vogel H., Wagner B. 2.8 Million Years of Arctic Climate Change from Lake El'gygytgyn, NE Russia // Science. – 2012. – Vol. 337. – № 6092. – P. 315-320.
7. Nazarova L.B., Pestryakova L.A., Ushnitskaya L.A., Hubberten H.-W. Chironomids (Diptera: Chironomidae) in lakes of Central Yakutia and their indicative potential for paleoclimatic research // Contemporary problems of ecology. – 2008. – №1. – P. 335-345.
8. Pestryakova L.A., Herzschuh U., Wetterich S., Ulrich M. Present-day variability and Holocene dynamics of permafrost-affected lakes in central Yakutia (Eastern Siberia) inferred from diatom records // Quaternary Science Reviews. – 2012. – Vol. 51. – P. 56-70.
9. Sundqvist H. S., Kaufman D.S., McKay N.P., Balascio N.L., Briner J.P., Cwynar L.C., Sejrup H.P., Seppä H., Subetto D.A., Andrews J.T., Axford Y., Bakke J., Birks H. J.B., Brooks S.J., de Vernal A., Jennings A.E., Ljungqvist F.C., Rühland K.M., Saenger C., Smol J.P. and Viau A.E. Arctic Holocene proxy climate database – new approaches to assessing geochronological accuracy and encoding climate variables // Climate of the Past. – 2014. – 10. – P. 1605-1631.

ПРИРОДНЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ПОСТУПЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В РЕКУ ОБЬ С ТЕРРИТОРИИ НОВОСИБИРСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

Сысо А.И.¹, Танащенко А.А.¹, Сидорова М.Ю.², Пузанов А.В.³

¹ *Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, г. Новосибирск, Россия,*

² *Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Новосибирск, Россия,*

³ *Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия*

e-mail: syso@mail.ru

Аннотация: Охарактеризованы основные источники поступления твердых и органических веществ, разных химических элементов в реку Обь, её притоки и Новосибирское водохранилище с территории Новосибирской агломерации. Приведены средние концентрации макро- и микроэлементов в твердом стоке талых вод, донных отложениях рек. Оценен вклад разных источников стока вод с территории города Новосибирска на состав вод реки Обь.

Ключевые слова: органическое вещество, химические элементы, воды, Обь, Новосибирская агломерация.

NATURAL AND ANTHROPOGENIC SOURCES OF ORGANIC MATTER AND CHEMICAL ELEMENTS DISCHARGE INTO THE OB RIVER FROM THE TERRITORY OF NOVOSIBIRSK AGGLOMERATION

Syso A.I.¹, Tanasienko A.A.², Sidorova M.Y.³, Puzanov A.V.³

¹ *Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia,*

² *Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russia,*

³ *Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia*

e-mail: syso@mail.ru

Resume: The article characterizes the main sources of dissolved solids, organic compounds and various chemical elements discharge into the Ob river, its tributaries and the Novosibirsk reservoir from the territory of the Novosibirsk agglomeration. The average concentrations of macro- and trace elements in solids contained in the snowmelt waters as well as in bottom river sediments are given. The contributions of different sources of water discharge from the territory of the Novosibirsk city were estimated and discussed.

Keywords: organic matter, chemical elements, the Ob river, Novosibirsk agglomeration.

Введение. Крупнейшая в Сибири Новосибирская агломерация, включающая территории третьего по площади (около 505 км²) административного и промышленного центра России – г. Новосибирска и его городов спутников, располагающаяся на водосборе реки Обь и её притоков, оказывает существенное влияние на твердый и ионный гидрохимический сток их вод. Пул органических веществ и химических элементов в речных водах, формируется за счет рассредоточенных источников стока, воды которых отражают природные особенности водосборов и специфику антропогенного воздействия на них, прежде всего загрязнения окружающей среды и сельскохозяйственного использования почвенного покрова. Учитывая важнейшую роль органических веществ и химических элементов в экологическом состоянии водоемов, научный и практический интерес представляет изучение природные и антропогенные источников их

поступления в поверхностные воды.

Цель настоящей работы – анализ природных и антропогенных источников поступления органических веществ и химических элементов в воды реки Обь и её притоков на разных участках водосборного бассейна на территории Новосибирской агломерации.

Материалы и методы. Объектами многолетних исследований служили снег и талые воды водосборов, воды и донные отложения Новосибирского водохранилища, реки Обь и её притоков (малых рек) в границах Новосибирской агломерации. В снеге, талых и речных водах и донных отложениях водоемов длительный период (2003-2015 гг.) изучались количественные и качественные показатели их состава и свойств, характеризующие вынос природных и антропогенных веществ с территорий водосборов, их влияние на твердый и ионный сток реки Обь и её притоков.

В пробах снега и вод, почв и донных отложений определялись: потенциометрически - реакция среды; гравиметрически - масса взвешенных веществ, сульфатов и сухого остатка солей; флуориметрически - концентрация нефтепродуктов, фенолов; атомно-эмиссионным и атомно-абсорбционным методами концентрация Al, As, Bi, Ca, Cu, Cd, Cr, Hg, Fe, Mg, Mn, Ni, P, Pb, Sn, Zn, титрометрически - ионов CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , ионометрически - F^- , NO_3^- . В донных отложениях определялись: сидементационно - гранулометрический состав; титрометрически после мокрого озоления – органическое вещество (по С).

Результаты. Обской водосборный бассейн в Новосибирской агломерации в левобережье располагается на Приобской возвышенной равнине, в правобережье - Колывань-Томской возвышенности и Северо-Западном Салаире. Эти геоморфологические структуры различаются по строению и дренируемости поверхности, климату, типам геохимических ландшафтов, растительному и почвенному покрову, их хозяйственному, прежде всего сельскохозяйственному, использованию, характеру, степени и интенсивности антропогенных нарушений, что сказывается на количестве и качестве поверхностных и грунтовых вод, поступающих в водоемы.

Наибольшее влияние на состав вод и донных отложений

Новосибирского водохранилища оказывает рассредоточенный сток водорастворимых и взвешенных (твердых) веществ, образующихся при линейной и плоскостной водной эрозии почвенного покрова водосбора. Природными предпосылками развития эрозионных процессов служат: высокое вертикальное и горизонтальное расчленение рельефа и наличие поверхностей с углами наклона более 3 градусов; формирование мерзлотного экрана в почвах весной; слабая устойчивость покровных отложений к размыву. Водной эрозии способствуют антропогенные факторы: распашка и избыточное орошение почв; нарушение или уничтожение почвенного и растительного покрова при строительстве различных сооружений, особенно в водоохраной зоне водоемов.

Установлено, что при линейной эрозии - разрушении оврагами прибрежных сельскохозяйственных угодий вынос рыхлого материала в водохранилище может достигать 6,5 млн. м³ с площади 178 га. При плоскостной эрозии пахотных земель в разные по метеоусловиям годы может ежегодно смываться от 1 до 13 т/га почвы, от 100 до 500 кг/га водорастворимых солей и от 10 до 190 кг/га растворимых органических веществ природного происхождения. Как правило, минимальный вынос веществ талыми водами наблюдается в малоснежные годы, а максимальный – многоснежные. Поэтому в разные годы значения водного, гидрохимического и твердого стока варьируют в широком диапазоне, что сказывается на изменении показателей качества вод реки Обь и её притоков.

До 20% твердых веществ стока с водосбора талых и ливневых вод достигает водоемов и оказывает влияние на качество их вод и донных отложений. Особого внимания заслуживают илистые органоминеральные частицы (диаметром менее 0,001 мм), смываемые с почвенного покрова водосборов и легко мигрирующие в водотоках в форме взвеси. Илистые частицы, по сравнению с песчаными (более 0,25 мм), естественно обогащены органическим веществом, фосфором, а также тяжелыми металлами (табл. 1). В процессе диагенеза осадков эти вещества могут переходить в воды, негативно влияя на их химический состав и экологическое состояние водоемов, что весьма актуально для Новосибирского водохранилища.

Таблица 1 – Среднее содержание органического вещества (по С) и химических элементов в илистых и песчаных частицах твердого стока талых вод с пахотных земель водосбора Оби

Размер частиц, мм	С	Р	Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Cd
	%			мг/кг				
<0,001	8,3	0,13	5,3	880	186	73	31	1,35
>0,25	0,8	0,05	2,3	340	61	27	18	0,11

На антропогенно загрязненных поверхностях водосбора концентрации в снеге, талых и речных водах ксенобиотиков, биофильных элементов (азот, фосфор, калий, кальций и т.д.), органических соединений и патогенной микрофлоры могут в 5-10 и более раз выше, чем на экологически чистых участках водосбора. В частности поток биофильных элементов в водохранилище вызывает «цветение» его вод, ухудшая их санитарно-химические и токсикологические показатели.

Повсеместно существуют локальные очаги загрязнения почвенного и снегового покрова водосбора, служащие причиной локальных же загрязнений вод и донных отложений Оби и её притоков. На Новосибирское водохранилище существенное воздействие оказывают техногенное загрязнение водосбора в районе Бердского залива. Наиболее сильно оно в зоне воздействия Чернореченского цементного завода (г. Искитим), где техногенные выбросы загрязнили территорию в радиусе более 15 км и увеличили щелочность почв до 1 единицы рН, В результате талые воды здесь щелочные и содержат кальция и магния на порядок больше, чем на незагрязненных территориях. В целом же поток твердых и органических веществ, химических элементов возрастает по направлению от южной границы Новосибирской агломерации к плотине Новосибирской ГЭС, достигая максимума на участке Оби от центральной части Новосибирска до очистных сооружений города.

Подобная картина изменения состава компонентов гидрохимического стока вод Оби в черте города Новосибирска обусловлена тем, что его промышленные предприятия за многие годы деятельности загрязнили своими выбросами городскую территорию, где возникли техногенные геохимические аномалии с загрязненными почвами, ставшими вторичными источниками загрязнения атмосферы и поверхностных вод. Этому способствует и высокий потенциал самоочищения поверхности почв и

твердых покрытий (дорог, площадей) от поллютантов, благодаря чему они активно смываются талыми и ливневыми водами в Обь, но в основном в малые реки, качество вод и донных отложений которых существенно ухудшается.

В общем объеме стока малых рек Новосибирска 77 % приходится на долю поверхностного стока с территорий разных функциональных зон города (селитебной, транспортной, промышленной и т.д.), а на долю хозяйственно-бытовых и производственных стоков – 9% и 14 % соответственно. Поэтому воды поверхностного стока вносят наибольший вклад в формирование гидрохимического стока рек, количественные и качественные характеристики которого зависят от уровня загрязнения всех видов поверхности города промышленными и бытовыми отходами и реагентами, техногенными выбросами, а также от покрытия растительностью его почвенного покрова, техногенного разрушения почв и их эрозии.

В суммарном поверхностном стоке вод с территории города, поступающих в реки без очистки, преобладают наиболее энергетически активные ливневые воды, способные не только смывать городскую пыль и грязь, но и разрушать почвы и грунты, размывать свалки промышленных и хозяйственно-бытовых отходов, часто расположенные в долинах рек.

В общей массе веществ, выносимых всеми водами с территории Новосибирска, абсолютно преобладают (80-95%) взвешенные вещества (минеральные и органоминеральные продукты эрозии почв и грунтов, а также смыва с улиц города), второе место занимают органические соединения из хозяйственно-бытовых отходов и стоков, незначительная доля приходится на аммонийный азот, фосфаты, марганец и другие вещества.

Исследование донных отложений малых рек Новосибирска выявило высокое содержание цинка и кадмия в глинистых частицах, диаметром менее <0,01 мм (табл. 2). Эти и более тонкие илистые частицы хорошо мигрируют в воздушных и водных потоках, преобладают в составе твердых веществ снега, талых, ливневых и речных вод, максимально насыщены разными поллютантами, а потому играют важнейшую роль в миграции химических веществ с загрязняемых водосборов в водоемы и экологическом состоянии последних.

Таблица 2 – Содержание глинистых частиц (<0,01 мм) и концентрация в них микроэлементов в донных отложениях в малых реках г. Новосибирска

Река	Глина	Zn	Cu	Ni	Pb	Cd
	%	мг/кг				
Ельцовка-1	8,6	695	55	56	51	1,90
Плющиха	3,2	344	61	60	39	0,48
Камышенка	2,7	666	79	80	54	0,25
Тула	5,1	445	113	64	88	4,20

Расчеты среднемноголетних масс веществ выносимых с территории Новосибирска показали, что их доля незначительна в общей массе веществ переносимых водами Оби на отрезке от нижнего бьефа Новосибирской ГЭС до очистных сооружений города (табл. 3). Это обусловлено тем, что в водном стоке реки Обь доли вод малых рек и всех видов стоков с территории Новосибирска составляют лишь 0,43% и 1,6 % соответственно. Однако доля некоторых компонентов стока выше доли водного стока, из-за более высокой концентрации веществ в разных стоках города. Из 24 изученных компонентов стока вод малых реки Новосибирска и реки Обь загрязняют её воды 10 компонентов, чья концентрация в водах малых рек выше (табл. 3). В целом же приоритетными поллютантами, которыми Новосибирск загрязняет обские воды, можно назвать нефтепродукты, хлориды, фториды, фенолы, хром и цинк.

Анализ многолетних данных водного и гидрохимического стока поступающих в Обь в разные годы с территории Новосибирска говорит о высоком варьировании значений водного стока и содержания в нем разных компонентов. В основном оно обусловлено: 1) изменениями гидрологических условий года, интенсивности снеготаяния и ливневых дождей, усиливающих или снижающих водную эрозию поверхности водосбора и снос с неё загрязняющих веществ в реки; 2) хозяйственной деятельностью на водосборе, в долине, пойме и русле Оби; 3) несанкционированными и аварийными сбросами загрязняющих веществ непосредственно в Обь; 4) загрязнением поймы Оби хозяйственно-бытовыми и промышленными отходами в несанкционированных свалках.

Таблица 3 – Средний вклад стока вод и их компонентов из различных источников на территории города Новосибирска в общем стоке реки Обь, в %

Компоненты стока	Вклад вод и компонентов стока малых рек	Сумма вкладов стока малых рек, промышленных и хозяйственно-бытовых стоков	Сумма вкладов всех видов стоков вод с территории города
Сток вод	0,43	1,30	1,60
Сухой остаток	0,47*	0,60	0,91
Нефтепродукты	1,12	1,45	2,18
Взвешенные вещества	0,81	1,05	1,58
Нитраты	0,51	0,66	0,99
Хлориды	1,17	1,52	2,28
Фториды	3,00	3,90	5,85
Фенолы	1,13	1,47	2,21
Хром	1,07	1,40	2,10
Медь	0,60	0,78	1,17
Цинк	1,45	1,88	2,82

*Примечание. Жирным шрифтом выделены выделены компоненты, вклад которых в загрязнение вод Оби превышает вклад стока соответствующих вод.

Выводы. На территории Новосибирской агломерации органические вещества и химические элементы поступают в гидрохимический сток Оби из рассредоточенных природных и антропогенных источников. Первые преобладают на участках водосборов с естественными и агроландшафтами, а вторые на антропогенно нарушенных участках водосборов в пределах городских территорий и техногенных геохимических аномалий.

Существенное влияние на экологическое состояние Новосибирского водохранилища, Оби и её притоков оказывают процессы плоскостной и линейной эрозии их берегов и водосборов, продукты которой служат основными источниками поступления минеральных и органических веществ, химических элементов в воды и донные отложения водоемов.

Наиболее существенное загрязнение вод Оби происходит на центральном и северном участке их миграции через территорию города Новосибирска, который постоянно загрязняет обские воды нефтепродуктами, хлоридами, фторидами, фенолами, хромом и цинком.

Секция 1

ФОРМИРОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ СУШИ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

ВОЗДЕЙСТВИЕ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ВОДОСБОРНУЮ ПЛОЩАДЬ ВОДОТОКОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Веснина Л.В. , Кухаренко Г.В. , Сурков Д.А.

Алтайский филиал ФГБНУ «Госрыбцентр», г. Барнаул, Россия

e-mail:artemia@alt.ru

Аннотация. Формирование техногенного рельефа ведет к изменениям величины поверхностного стока и оказывает влияние на естественную среду обитания гидробионтов. Воздействие на территорию происходит при вырубке кустарников и деревьев с участка строительства, выемки грунта под траншеи. При определении потерь водных биоресурсов в результате перераспределения естественного стока с деформированной поверхности водосборного бассейна учитывается модуль стока, коэффициент глубины воздействия, продолжительность восстановления ландшафта.

Ключевые слова: водосборная площадь, водные биоресурсы, биопродуктивность

ANTHROPOGENIC IMPACT ON CATCHMENT AREA OF WATERCOURSES IN WESTERN SIBERIA

Vesnina L. V., Kukharenko V. G., Surkov D. A.

Altai branch of FSBI "Gosrybcenter", Barnaul, Russia

e-mail:artemia@alt.ru

Abstract. The formation of technogenic relief leads to changes in the rate of surface runoff and affects the natural habitat of aquatic organisms. The impact on the territory takes place when cutting down bushes and trees in the construction site, excavating and trenching. In determining the loss of water biological resources due to the redistribution of the natural runoff from the deformed surface of the catchment area, the rate of water flow, the impact depth and the duration of landscape restoration are taken into consideration.

Keywords: catchment area, water resources, biological productivity

Введение

Водосборная площадь (водосбор, водосборный бассейн) – территория, сток с которой формирует водный объект. Строение поверхности водосбора (рельеф, наличие озёр и болот, характер растительности) оказывает влияние на условия стока воды. Любые техногенные изменения рельефа приводят к изменениям поверхностного стока, его объема и водности рек, а нарушение естественного стока оказывает влияние на среду обитания гидробионтов. Изменение экологических условий на части водосборной площади неизменно приводит к снижению биологической продуктивности прибрежных биотопов и донных биоценозов на прилегающих участках водотоков. Для каждой водной экологической системы характерны соответствующие пределы

антропогенной нагрузки, превышение которых может привести к серьезным и непоправимым последствиям.

На стадии проектирования объектов капитального строительства на водных объектах, внедрения новых технологических процессов и осуществления иной хозяйственной деятельности человека, оказывающей воздействие на водные биологические ресурсы и среду их обитания важно учесть все возможные факторы отрицательного влияния на водные экосистемы, чтобы в последующем избежать негативных последствий. Особенно это важно, когда затрагиваются рыбохозяйственные водотоки. Возможным видом воздействия строительных работ может быть частичное нарушение и сокращение площади водосбора в районе проведения планируемых работ, которое необходимо учитывать при исчислении размера вреда водным биоресурсам.

Материалы и методы

Потери водных биоресурсов в результате сокращения (перераспределения) естественного стока с деформированной поверхности водосборного бассейна водотоков рыбохозяйственного значения рассчитываются согласно «Методике исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам» [3]. При исчислении размера вреда от сокращения объема водного стока в процессе техногенного морфогенеза учитывается модуль стока, характер изменения деформированной поверхности, коэффициент глубины воздействия на поверхность. Величина вреда водным биоресурсам и среде их обитания зависит от параметров зон неблагоприятного воздействия, длительности последнего и от продолжительности восстановления ландшафта.

Модуль стока (в водотоке) – объем воды, стекающей с определенной площади бассейна (площади водосбора) в единицу времени. При определении модуля стока, используемого в расчетах, учитывается, что он отражает водообеспеченность рассматриваемой территории. При отсутствии данных в справочной литературе, модуль стока рассчитывается по расходу

воды и площади бассейна выше створа, по которому определялся расход воды данной реки.

При определении деформированной площади водосбора учитывается нарушение почвенно-растительного покрова, вырубка древесно-кустарниковой растительности, а также проведение работ согласно техническим решениям проектов (рыхление грунта при разработке траншей и уплотнение в результате движения строительной техники, разбивка котлованов и т.п.). После окончания строительства планируются работы по рекультивации отведенных земель, направленные на восстановление нарушенных земель, а также на улучшение условий окружающей среды.

Коэффициент глубины воздействия на поверхность определяется в зависимости от вида планируемых работ на территории водосборной площади [1, 6]. По литературным данным при неглубоком воздействии на поверхность (снятие почвенно-растительного слоя, вырубка и корчевание деревьев, разработка траншей, руслоотводов, прохождение вездеходной техники по участкам земной поверхности без искусственного или естественного твердого покрытия, укладка трубопроводов в траншее) коэффициент глубины временного воздействия равен 0,3. Глубокое воздействие на поверхность: рытье котлованов, карьеров глубиной (5-10 м), а также полное закрытие поверхности с использованием неполно изолирующих материалов или способов, таких как щебень, коэффициент глубины временного воздействия равен 0,5. Отработка карьеров глубиной более 10 м, полное закрытие поверхности асфальтом, бетоном и другими подобными покрытиями при построении любых зданий и сооружений, дорог, дорожек, площадок, приводящих к существенной перестройке гидрогеологического режима водосборных территорий – коэффициент глубины временного воздействия равен 1,0

Согласно методике, при исчислении размера вреда водным биоресурсам и среде их обитания используется величина повышающего коэффициента, которая определяется как длительность негативного

воздействия намечаемой деятельности и восстановления исходных данных, влияющих на рыбопродуктивность и свойства водного стока с деформированной поверхности водосборного бассейна. пойменные луга умеренной зоны восстанавливаются в течение 3-х лет, при сохранении исходного рельефа. В поймах рек и ручьев мохово-лишайниково-кустарничковой тундры и у бровки надпойменной террасы растительный покров шурфов и канав полностью соответствует фоновой растительности через 25-30 лет. В таежно-лесной зоне нарушение ландшафтов в основном происходит при расчистке, вырубке и корчевании, при этом после производственных работ рекомендуется восстанавливать исходный рельеф, что позволит значительно ускорить процесс восстановления лесных сообществ. При вырубке страдают и верхние слои почвы, подстилка и травянистый ярус. Через 10 лет после сплошной рубки происходит активное разрастание луговых видов травянистых растений и начинается постепенное возобновление лесных видов. В среднем через 20 лет после периода смыкания крон, температурный режим и степень освещенности у поверхности почвы постепенно стабилизируется [5].

Результаты

При оценке воздействия хозяйственной деятельности человека на водные биоресурсы и среду их обитания отмечено, что по силе антропогенного воздействия на речные долины одно из первых мест занимает разработка россыпей золота. Данный тип хозяйственной нагрузки почти полностью нарушает деятельность русловых процессов. В результате отработки золотоносных россыпей естественный рельеф пойменно-русловых комплексов и долин рек заменяется антропогенными формами: отвалами, выровненными площадками с отстойниками и водоотводными каналами, траншеями различной протяженности, эрозионными канавами. Сокращение стока с территории, где формируется техногенная форма рельефа под действием производственной деятельности, возникает вследствие задержки части стока в техногенных депрессиях. Таким образом, после отработки

месторождений условия развития водотоков меняются: нарушается естественный гидрологический режим, понижается уровень грунтовых вод и базис эрозии, меняется природная турбулентность водотока. Строительство прудов-отстойников, используемых в системе оборотного водоснабжения, также меняет структуру гидрологической сети района разработки месторождения [4].

При строительстве линий электропередач, газопровода, автомобильных дорог и других объектов капитального строительства также возможно частичное нарушение и сокращение площади водосбора, связанное с производством земляных и строительно-монтажных работ, переформированием рельефа. Вырубка древесно-кустарниковой растительности на участках трассы может привести к незначительному изменению естественных условий поверхностного и грунтового стока, нарушению естественного дренажа территории, а также целостности природного комплекса [2]. При прокладке подводных и надводных переходов, строительстве мостов водотоки подвергаются воздействию строительной техники. Результатом сокращения части поверхностного стока является снижение рыбопродуктивности водотоков. Масштабы воздействия в водораздельной поверхности при строительных работах пропорциональны нарушаемой площади и глубине нарушений.

Заключение

Река и ее водосбор — единая система, реагирующая на любое хозяйственное вмешательство на водосборной территории. Антропогенное изменение поверхности водосборной площади перераспределяет сток с территории и оказывает негативное воздействие на гидробионтов. Сокращение объема естественного стока приводит к ухудшению среды обитания водных биоресурсов и нарушению обменных процессов в экосистеме. При оценке размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам, необходимо учитывать потери водных биоресурсов в результате

перераспределения естественного стока с деформированной поверхности водосборного бассейна водного объекта рыбохозяйственного значения.

Литература

1. Водогрецкий В.Е. Антропогенное изменение стока малых рек. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 176 с.
2. Крестовский О.И. Влияние вырубок и восстановления лесов на водность рек. Гидрометеиздат, 1986. – 106 с.
3. Методика исчисления размера вреда, причиненного водным биоресурсам (утв. Приказом Росрыболовства от 25.11.2011 г. № 1166).
4. Пасынкова А.И. Изменение водных экосистем в условиях золотодобычи, на примере верховий реки Мана // Биологические аспекты рационального использования и охраны водоемов Сибири: материалы Всероссийской конференции. – Томск, 2007. – С.187-190.
5. Поромонов А.А., Воронков В.Б., Хатунцов А.В. Определение потерь водных биоресурсов в результате перераспределения естественного стока с деформированной поверхности водосборного бассейна // Рыбное хозяйство. – 2015. – № 6. – С. 36-39.
6. Руднев Н.И. Влияние антропогенного изменения гидрометеорологического режима территории на экосистемы / Проблемы антропогенного воздействия на окружающую среду. Москва: Изд-во Наука. 1991. – С. 37-42.

ВЛИЯНИЕ УРОВЕННОГО РЕЖИМА НА СООБЩЕСТВА ЗООБЕНТОСА В ЛИТОРАЛИ НОВОСИБИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Визер А.М.

Новосибирский филиал ФГБНУ «Госрыбцентр», г. Новосибирск, Россия

e-mail: sibribniiproekt@mail.ru

Аннотация. Площадь осушаемых мелководий составляет около трети всего водохранилища и имеет большое значение для видового разнообразия и биологической продуктивности всего водоема. Биомасса и разнообразие бентоса на временно затопляемых площадях значительно выше, чем в зоне постоянного затопления. При обсыхании глинистых и песчаных грунтов, населяющие их организмы погибают, на основных песчано-илистых биотопах выживают до заполнения водоема. Небольшие потери на этом биотопе связаны с выеданием птицами и размывом грунтов во время волнобоя. Повышенной выживаемостью обладают чужеродные моллюски *Viviparus viviparus* L., что предоставляет им конкурентные преимущества по сравнению с аборигенными организмами.

Ключевые слова: водохранилище, литораль, осушение, зообентос, выживание

INFLUENCE OF LEVEL REGIME ON ZOOBENTHOS COMMUNITIES IN NOVOSIBIRSK RESERVOIR LITTORAL ZONE

A.M. Vizer

Novosibirsk Branch of "Gosrybtsentr", Novosibirsk, Russia

e-mail: sibribniiproekt@mail.ru

Abstract. The area of drained shallow water is about one third of the total reservoir and is of great importance for the species diversity and biological productivity of the reservoir. Biomass and variability of benthos in temporarily flooded areas are much higher than in the zone of constant flooding. When the clayey and sandy soils dry up, the inhabitants die. Small losses are associated with the grazing by birds and erosion during the waves. Alien *Viviparus viviparus* L. shellfish have high survival rate that makes them competitive with native organisms.

Keywords: reservoir, littoral zone, drainage, zoobenthos, survival

Площадь мелководий с глубинами менее 5 м составляет около 30 % (35 тыс. га) всего Новосибирского водохранилища, что, наряду с большим разнообразием биотопов, определяет их высокую значимость для видового богатства и биологической продуктивности всего водоема. Одновременно обитатели литорали испытывают целый комплекс негативных воздействий, связанных с большой изменчивостью термического, гидродинамического и гидрологических режимов. К основным негативным факторам следует отнести ежегодную сработку уровня водохранилища на 5 м и более, во время которой с ноября по апрель мелководная зона полностью осушается. В наиболее неблагоприятных условиях оказываются организмы зообентоса, погибающие в результате высыхания и промерзания грунтов в Новосибирском и большинстве других водохранилищ [2, 3, 4].

Задачей наших исследований было изучение состава, распределения, количественных показателей и выживаемости зообентоса на различных

биотопах временно затопляемой зоны водохранилища в различные по водности годы.

Исследования сообществ зообентоса на обсохших мелководьях Ирменского плеса Новосибирского водохранилища проводились в 2005, 2008, 2009 и 2012 гг. Отбор проб начинался еще до распаления льда непосредственно после схода снегового покрова в апреле и продолжался до заполнения водохранилища в июне. Изучалась бентофауна, населяющая основные грунты водохранилища - пески, выходы глин и илы, обогащенные детритом в заливах. Наиболее распространенный прибрежный биотоп состоял из комплекса всех этих грунтов, в котором илы на границе с зоной постоянного затопления постепенно сменяются заиленными песками и переходят в песчаные пляжи, реже глинистые отмели, вдоль береговой кромки.

Пробы отбирались дночерпателем Петерсена с площадью захвата 355 см², на глубину в 20 см с периодичностью в 5 дней. На затопленных участках для отлова подвижных организмов применялась и прямоугольная драга с входным отверстием 40х25 см и салазочный трал с входным отверстием 50 х40 см. Для изучения распределения организмов по толщине грунта в 2009 и 2012 гг. вырезались колонки грунта площадью 324 см², на глубину до 50 см. Всего за 4 сезона было собрано и обработано 467 проб макробентоса.

В начальный период исследований в апреле, когда обсохшая акватория занимает максимальную площадь, живые организмы встречены на всех площадях всех биотопов, обводненных перед ледоставом. На илах и песках организмы встречались в толще грунта на глубине до 50 см, на глинах в большинстве случаев в слое 2-3 см.

На всех грунтах видовое разнообразие снижалось по мере удаления от зоны постоянного затопления к верхним горизонтам литорали при НПУ (нормальный подпорный уровень, 108,50 м). Если на участках, граничащих с водной поверхностью встречалось до 27 видов зообентоса из различных групп, то на горизонтах с минимальными уровнями воды перед ледоставом

сохранялось не более 1-2 видов личинок хирономид, чаще всего *Lipiniella arenicola* Schilova. В грунтах, обсохших до ледостава, либо установления снежного покрова живые организмы отсутствовали.

Максимальное число видов от 19 до 27 встречено на глинистых грунтах. Только на этих биотопах в пробах присутствовали пиявки, ручейники и большинство ракообразных, которые выживали благодаря сохранению влаги в понижениях микрорельефа этих грунтов. На илах видовое разнообразие снижается, и донная фауна формируется 17-23 видами олигохет, моллюсков и хирономид. Пески были заселены 4-5 видами хирономид, и единичными моллюсками из рода *Pisidiidae*.

На твердых глинистых грунтах доминировали крупные моллюски *Anadonta piscinalis* Nilss. и чужеродный вид *Viviparus viviparus* L., на которых приходилось 96,2-100 % всей биомассы бентоса 177,70-2244,21 г/м². Максимальное развитие донной фауны на этом биотопе наблюдалось в 2005 г., при становлении ледостава до начала осушения водоема в среднем по водности 2004 г. (таблица 1). После крайне маловодного 2008 г. продуктивность этого биотопа снижается, а *A. piscinalis* полностью исчезает. Моллюск *V. viviparus* в 2009 г. встречался лишь вдоль границы постоянного затопления.

Таблица 1 – Состав и биомасса бентоса на обсохших грунтах в апреле 2005, 2008 и 2012 гг., г/м²

Группы организмов	Глины			Илы		
	2005	2008	2012	2005	2008	2012
<i>Chironomidae</i>	0,756	2,486	0,336	3,761	2,462	8,352
<i>Bivalvia</i>	60,210	106,467	6,946	6,262	3,987	9,359
<i>Gastropoda</i>	2184,0	704,082	177,7	4,035	0,319	6,843
<i>Amphipoda</i>	0	0,028	0	0	0	0
Прочие	0	0,246	0,005	0	0,045	0
Всего	2244,966	813,309	184,988	14,058	6,813	24,554

На заиленных грунтах биомасса бентоса значительно ниже, так как создается мелкими организмами - личинками хирономид и моллюсками их родов *Shaerium* и *Pisidium*.

На песках зообентос беден не только качественно, но и количественно – 2,198-4,304 г/м². Только в 2012 г., в связи с широким расселением *V. viviparus*, биомасса на отдельных станциях с этими моллюсками достигала 53 г/м², однако уже в апреле все они находились в безжизненном состоянии.

В зоне постоянного затопления с преобладанием илистых грунтов количественные показатели донной фауны в эти годы значительно ниже – 3,523 г/м² [1].

Количественные показатели в распределении аборигенного зообентоса, в отличие от видового разнообразия, меньше зависят от расположения станций относительно максимального уровня водоема и определяются конфигурацией дна осушенной литорали и уровнем воды в период ледостава.

На основном биотопе максимальная биомасса бентоса постоянно наблюдалась на горизонтах 110,5-111,0 м, которые занимают промежуточное значение между уровнем максимального осушения водоема (106,96–108,82 м) и НПУ водоема (рис. 1). Этот участок представляет собой подошву резкого склона дна, которым заканчивается выровненная прибрежная отмель. Узкая полоса дна, граничащая с обрывистым склоном, служит местом концентрации аборигенных брюхоногих и двустворчатых моллюсков, на которых приходится от 84,9 до 97,1 % всей биомассы.

На пологом участке от склона до уреза воды донная фауна формируется большим числом видов, с преобладанием хирономид. Эти организмы следуют вслед за отступающей водой, но в завершающий период сработки водохранилища, когда в течение суток уровень может снижаться до 10 см и более, не полностью покидают обсыхающие отмели. Биомасса бентоса на этих участках обычно не велика, так как он формируется из случайного набора наиболее мелких и подвижных видов мигрирующих с обсыхающих площадей. На мигрантов приходится до 70,1% всего зообентоса.

На прибрежных мелководьях, обсохших в начале зимы, донная фауна значительно богаче и стабильнее. Это объясняется формированием в

прибрежье в 2005 и 2012 гг. биоценоза *Lipiniella arenicola*, вида хорошо приспособленного к выживанию в обсохших грунтах.

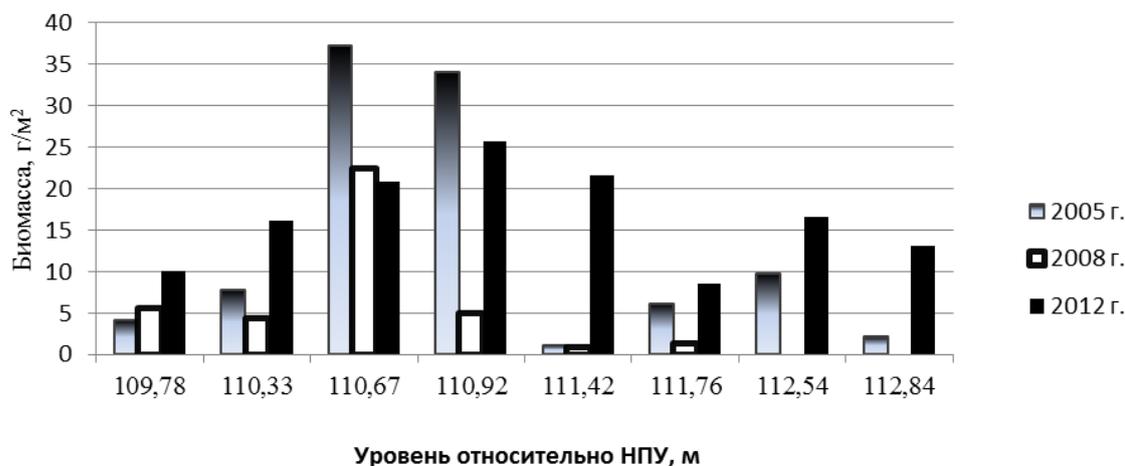


Рис. 1 – Биомасса аборигенного зообентоса на различных горизонтах обсохшей литорали

При рассмотрении всего бентоса эта закономерность в распределении биомасс по литорали исчезает, так как численность чужеродного моллюска *V. viviparus* по мере продвижения от обсохшего склона дна к урезу воды постоянно возрастает от единичных особей до 5-6 тыс. экз./м², при общей массе в 13-16 кг/м².

Максимальная численность аборигенного бентоса напротив, создается личинками хирономид выше и ниже подводного склона, исключение составляет только 2008 г., когда в донной фауне практически отсутствовал вид доминант верхних горизонтов литорали *L. arenicola* (рис. 2).

Гибель зообентоса на обсохших глинистых мелководьях и на песчаных отмелях вдоль островов начинается уже апреле. На плотных глинистых грунтах это происходит из-за сильных ночных заморозков, так как вышедшие на поверхность организмы не в состоянии вновь быстро заглубиться в грунт и выживают только отдельные особи моллюсков, самостоятельно доползающие по влажному грунту до воды. Быстрое обезвоживание чистых песчаных грунтов после оттаивания так же ведет к гибели населяющих их хирономид и моллюсков, так как они в этот период концентрируются в поверхностном слое толщиной 12-14 см, что близко к суточным значениям

падения уровня воды в водоеме. Уже в последних числах апреля по всей исследованной толще в 0,5 м живые организмы отсутствовали.

На основном заиленном биотопе, который сменяется песками лишь в прибрежье, все основные группы бентоса (олигохеты, моллюски, хирономиды) сохраняются в толще влажных грунтов до затопления в мае-июне. Погибают лишь организмы, обитающие на поверхности дна, с низкой способностью к закапыванию, пиявки, ракообразные, личинки ручейников и поденок. Численность таких подвижных организмов не велика и большинство из них успевает уйти в зону постоянного затопления.

На верхних горизонтах литорали, населенных только личинками хирономид, в апреле 84,7 % численности и 76,4 % биомассы находится в поверхностном слое глубиной менее 7 см. В это время он подвергается выеданию многочисленными сухопутными птицами с преобладанием стай скворцов. По мере высыхания грунта хирономиды зарываются в нижние слои и концентрируются на глубине 7–15 см. Гибель бентоса к началу затопления в разные годы составляет 5,5–24,8 % от общей биомассы.

На кратковременно осушаемых илистых грунтах, в непосредственной близости от уреза воды, в поверхностном слое находится 42,4–45,9 % биомассы личинок хирономид и 79,4–85,1 % биомассы двустворчатых моллюсков и они вполне доступны для околородных птиц. На волжских водохранилищах бентос этих биотопов на 70–80% потребляется куликами [5]. На Новосибирском водохранилище эта группа птиц малочисленна и не оказывает влияния на количественные показатели донной фауны.

Наиболее успешно переживают период осушения брюхоногие моллюски *V. viviparous* L., которые самостоятельно достигают обводненных участков или изначально закапываются на мягких грунтах на глубину более 7 см, что им позволило стать основным видом на периодически затопляемой акватории.

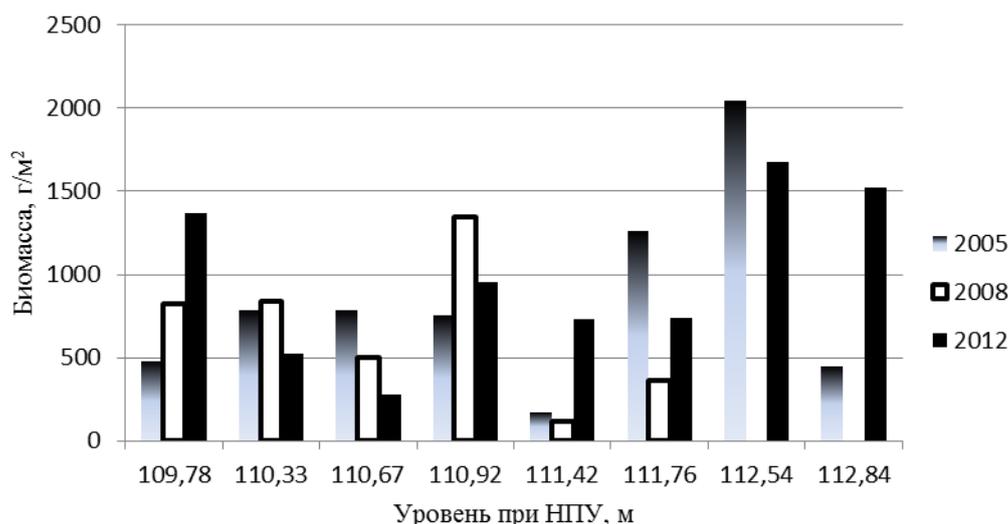


Рис. 2 – Численность аборигенного зообентоса на различных горизонтах обсохшей литорали

Значительно больший ущерб донным сообществам открытых илистых и песчаных отмелей наносится под воздействием волн в период затопления. Даже плотные илы размываются на глубину до 40 см, а населяющие их организмы погибают. Восстановление бентоса на этих участках происходит лишь к июлю, после отрождения молоди хирономид.

Выводы. Грунты осушаемой литорали представлены глинами, песками и илами. Основную площадь занимает смешанный биотоп, на котором по мере продвижения от русла к береговой линии илы постепенно замещаются песками.

В апреле живые организмы встречены на всех типах грунтов обсохших после наступления морозов или установления ледостава. Наиболее богат и разнообразен бентос глинистого биотопа, где обитает до 27 видов с биомассой до 2244,966 г/м², за счет концентрации самых крупных моллюсков водохранилища *A. piscinalis* Nilss. и чужеродного вида *V. viviparus* L. Пески заселены 4-5 видами хирономид и моллюсков с низкой биомассой 2,198-4,304 г/м². Илы по всем показателям занимают промежуточное значение.

Максимальная биомасса аборигенного бентоса создается моллюсками на глубине 2,5–3,0 м при НПУ вдоль резкого склона дна. Численность

бентоса, напротив, возрастает выше и ниже этого участка, за счет личинок хирономид.

В третьей декаде апреля после схода снегового покрова и оттаивания грунтов происходит гибель организмов на глинистых и песчаных биотопах от возвратных морозов и высыхания. На основном заиленном биотопе бентос выживает до его затопления в мае-июне. Основные потери связаны с выеданием птицами и размывом грунтов во время волнобоя.

Наиболее подвижны и глубоко закапываются в грунт чужеродные моллюски *V. viviparus* L., что предоставляет им конкурентные преимущества по сравнению с аборигенными организмами.

Литература

1. Визер А.М. Современное состояние зообентоса Новосибирского водохранилища // Современное состояние водных биологических ресурсов: Матер. 2-ой междунар. конф. – Новосибирск, 2010. – С. 17-20.
2. Визер А.М. Зообентос осушной зоны Новосибирского водохранилища // Сибирский экологический журнал. – 2011. – Т. 12. – №1. – С. 69-75
3. Гусаков В.А. Мейобентос Рыбинского водохранилища. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2007. – 155 с.
4. Мелководья Кременчугского водохранилища. – Киев: Наук. думка, 1979. – 284 с.
5. Экологические проблемы Верхней Волги. Коллективная монография. – Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2001. – 427 с.

ЗООПЛАНКТОН ОЗЕР КАРАСУКСКО-БУРЛИНСКОЙ СИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Визер Л.С.

Новосибирский филиал ФГБНУ «Госрыбцентр», г. Новосибирск, Россия

e-mail: sibribniiproekt@mail.ru

Аннотация. Общее число видов зоопланктона в озерах незначительное - от 9 до 16. По среднемуголетним показателям биомассы зоопланктона озера относятся к водоемам мезотрофного типа. Коэффициент корреляции зависимости численности зоопланктона от уловов рыб отрицательный: в оз. Хорошее - 0,6, в остальных озерах от 0,3 до 0,4. Структура зоопланктона в оз. Хорошее в годы с низкими количественными показателями характеризовалась доминированием группы веслоногих ракообразных.

Ключевые слова: Зоопланктон, численность, биомасса, озера, улов

ZOOPLANKTON OF KARASUK-BURLA LAKE SYSTEM IN CONDITIONS OF ANTHROPOGENIC IMPACT

Vizer L.S.

Novosibirsk branch of "Gosrybcenter", Novosibirsk, Russia

e-mail: sibribniiproekt@mail.ru

Abstract. The total number of zooplankton species in the lakes is insignificant - from 9 to 16. According to the average annual biomass of zooplankton, the lakes belong to mesotrophic waters. The correlation coefficient of the dependence of zooplankton abundance on fish catch is negative: in Lake Khoroshee - 0.6, in other lakes from 0.3 to 0.4. The structure of zooplankton in Lake Khoroshee in years with low quantitative indicators was characterized by the predominance of copepods.

Keywords: zooplankton, abundance, biomass, lakes, catch

В Карасукско-Бурлинскую систему входят близко расположенные друг к другу озера бассейнов рек Бурлы и Карасук. Озера Благодатное, Красное и Стеклоанное принадлежат бассейну р. Карасук, оз. Хорошее – бассейну р. Бурла. Общая площадь озер составляет 6659 га. Озера имеют рыбохозяйственное значение и испытывают антропогенное воздействие за счет промысла рыбы. Средний вылов рыбы за 2011-2016 гг. составил 60 т (от 7,1 до 144,0 т в год) и снизились по сравнению с предыдущими 6 годами в 5 раз. На протяжении последних 50 лет озера периодически зарыблялись лещем, судаком, сазаном, серебряным карасем, сиговыми видами рыб. Для озер характерны периодические колебания уровня воды, что приводит к изменению площадей акваторий, объема водной массы, степени минерализации, состояния кормовой базы и численности стад рыб. По результатам исследований прошлых лет величина остаточной естественной кормовой базы озер, как по зоопланктону, так и по зообентосу, была невысокой. Все исследуемые озера относились к малокормным малопродуктивным водоемам.

Цель работы – выявить влияние величины рыбного населения в озерах Карасукско-Бурлинской системы на качественный и количественный состав зоопланктона в период с 2011 по 2016 гг.

Отбор проб сообществ зоопланктона осуществлялся по всей акватории озер в июле 2011-2016 гг. с помощью сети Апштейна путем процеживания 50 л с поверхности воды. Пробы фиксировались 4%-м раствором формалина. Всего было собрано и обработано 66 проб. Пробы обрабатывались общепринятыми методами [4]. Степень сопряженности между варьирующими признаками оценивали при помощи корреляции [1].

Зоопланктон озер бассейнов рек Бурла и Карасук в 2011-2016 гг. не богат по видовому составу и имеет достаточно большое сходство между собой. Общее число видов в озерах насчитывало от 9 до 16 таксонов: коэффициент сходства составлял от 0,63 до 0,74. В доминирующий комплекс видов во всех озерах входили организмы-космополиты: коловратка *Keratella quadrata* (Müller), ветвистоусые ракообразные *Daphnia longispina* (O.F. Müller) и *Chydorus sphaericus* (O.F. Müller), веслоногие ракообразные *Cyclops strenuus* Fisch и *Mesocyclops leuckarti* Claus. Количественные показатели зоопланктона имели существенные различия в зависимости от конкретного озера и года (таблица).

По среднемноголетним показателям биомассы зоопланктона озера относятся к водоемам мезотрофного типа [3]. Однако, по значениям биомассы в отдельные годы они входили в категорию от ультраолиготрофных до гипертрофных. Наиболее стабильная биомасса зоопланктона была отмечена в оз. Хорошее, она изменялась от 0,6 (2011 г.) до 2,3 г/м³ (2013 г.), т.е. в 3,8 раза. Вариациям биомассы зоопланктона больше подвержено оз. Красное. Так, максимальная биомасса (2013 г.) превышала минимальную (2016 г.) в 217 раз. Аналогичная ситуация складывалась в этих озерах и с численностью зоопланктона. В оз. Хорошее численность изменялась от 15,1 до 67,0 тыс. экз /м³, т.е. в 4 раза, в оз. Красное: максимальная превышала минимальную в 112 раз (см. табл. 1).

Таблица – Численность и биомасса зоопланктона в озерах Карасукско-Бурлинской системы

Годы	Хорошее	Благодатное	Красное	Стеклянное
2011	<u>33,6</u> 0,6	<u>37,0</u> 0,8	<u>55,3</u> 2,1	<u>30,5</u> 0,7
2012	<u>15,1</u> 1,8	<u>12,1</u> 0,1	<u>7,7</u> 0,2	<u>99,7</u> 11,1
2013	<u>57,5</u> 2,3	<u>148,8</u> 13,0	<u>235,7</u> 21,7	<u>90,8</u> 0,6
2014	<u>28,1</u> 0,9	<u>76,7</u> 3,2	<u>89,3</u> 4,1	<u>257,7</u> 9,8
2015	<u>67,0</u> 2,1	<u>7,1</u> 0,2	<u>42,1</u> 0,7	<u>49,6</u> 0,3
2016	<u>16,2</u> 1,1	<u>14,6</u> 1,0	<u>2,1</u> 0,1	<u>15,8</u> 2,4
Среднее	<u>36,3</u> 1,5	<u>49,4</u> 3,1	<u>72,0</u> 4,8	<u>90,7</u> 4,2

Примечание: над чертой – численность зоопланктона, тыс. экз./м³, под чертой – биомасса зоопланктона, г/м³

Анализ экологической ситуации в водоемах показал, что гидрологический режим характеризовался стабильностью, резких изменений уровня воды в озерах не наблюдалось. Гидрохимические показатели также значительных изменений не выявили: колебания солености в исследуемые годы были минимальными: в оз. Хорошее от 2,3 до 3,1 г/л, в оз. Благодатное от 1,8 до 1,9, в оз. Красное – от 1,1 до 2,2, в оз. Стеклянное – от 1,2 до 1,3 г/л. Все озера входили в категорию мезогалинных водоемов.

Учитывая, что экологическая обстановка в водоемах оптимальна, был проведен анализ антропогенного воздействия, а именно уловов рыбы, на зоопланктон озер в связи с тем, что объем вылова, как правило, отражает численность промысловых видов рыб.

Оценка влияния уловов рыбы показала, что величина общего улова по-разному воздействует на количественные показатели зоопланктона в озерах. В целом в озерах наблюдалась обратная зависимость численности зоопланктона от уловов. Так, при минимальном улове (2013 г.) была отмечена максимальная численность зоопланктона, при максимальном вылове рыб в 2012 г. – минимальная численность. Исключение составляло оз. Стеклянное, в котором данные закономерности не проявлялись (рис. 1).

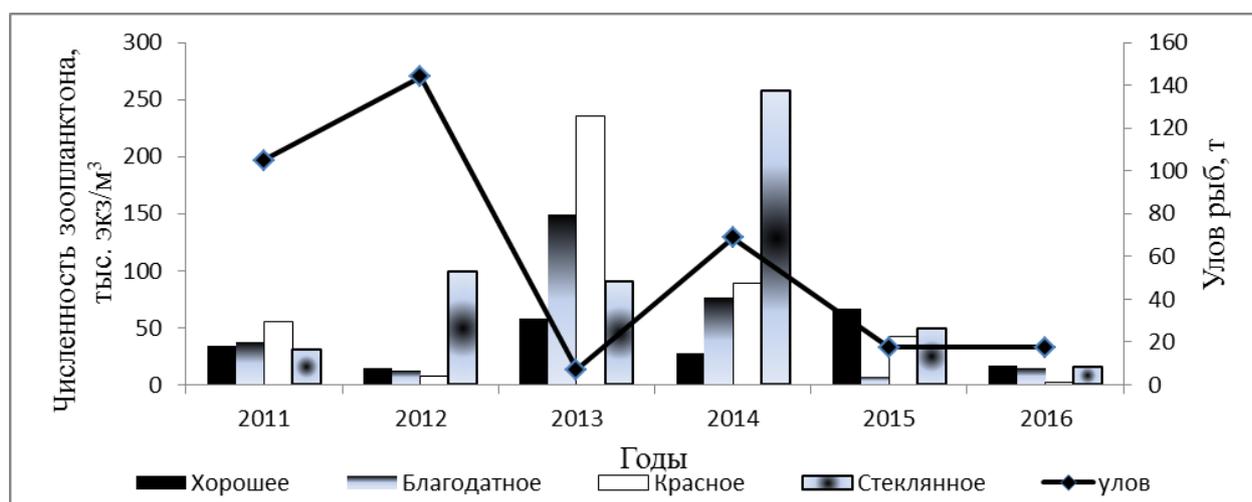


Рис. 1 – Численность зоопланктона и уловы рыб в озерах Карасукско-Бурлинской системы

На биомассу зоопланктона в озерах отмечено аналогичное влияние уловов рыбы: максимальная биомасса соответствовала минимальным уловам, наименьшая – самому высокому вылову. Также из общего ряда выделялось оз. Стеклоанное (рис. 2).

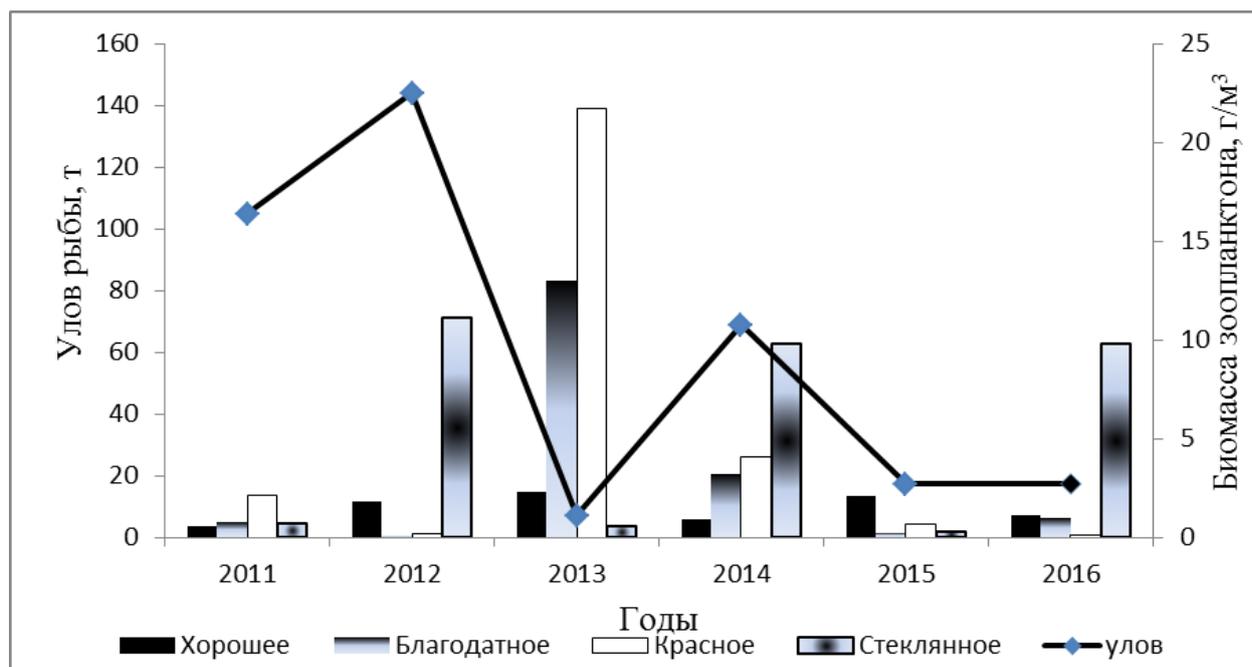


Рис. 2 – Биомасса зоопланктона в озерах Карасукско-Бурлинской системы

Наиболее четкое отрицательное влияние уловов на количественные показатели зоопланктона прослеживались в оз. Хорошее. В динамике общих уловов рыбы Карасукско-Бурлинской системы оз. Хорошее выделяется как озеро регулярного лова или «базовое». Промысел на нем ведется круглогодично: летом близнецовыми тралями, зимой закидными неводами. В объеме среднегодового вылова его доля составляет в среднем около 80%. На

остальных озерах промысел проводится закидными неводами зимой только в период локальных концентраций рыбы, летом – сетями. В связи с тем, что основной промысел сосредоточен на оз. Хорошее в нем наиболее ярко проявляется влияние величины уловов рыб на количественные показатели зоопланктона: при снижении уловов увеличивалась численность зоопланктона, при высоких уловах наблюдались низкие значения численности (рис. 3). Коэффициент корреляции характеризовал заметную зависимость и составил – 0,6. В остальных озерах зависимость была умеренной: в оз. Благодатное и Стеклянное коэффициент корреляции – -0,3, в оз. Красное – -0,4.

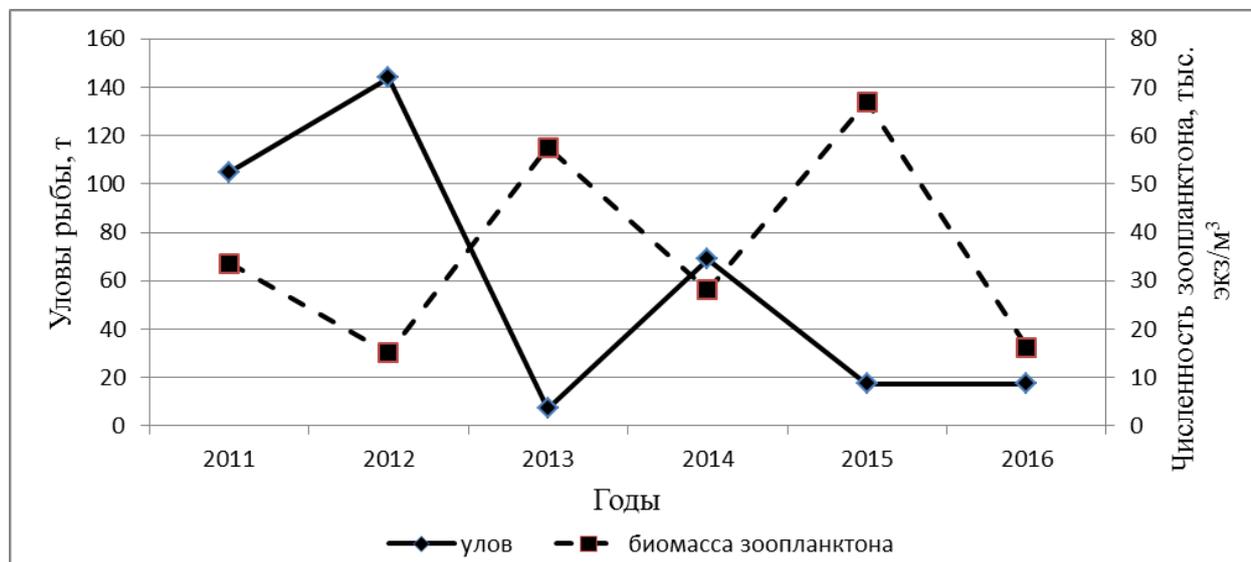


Рис. 3 – Численность зоопланктона и уловы рыбы в оз. Хорошее

Структура сообществ зоопланктона оз. Хорошее менялась в зависимости от величины улова. В 2011г., при высоком улове, в зоопланктоне доминировала группа коловраток, ее доля в общей численности составляла 48,4 %. Руководящая роль принадлежала *Keratella quadrata* (Müller). В 2013 и 2015 гг., при низкой величине вылова, доминирующая группа – веслоногие ракообразные с долей от общей численности 71,3 и 74,3 %. В первом случае доминировали *Cyclops strenuus* Fisch, и *Diaptomus graciloides* Lill, во втором -. *Cyclops strenuus* Fisch и *Mesocyclops leuckarti* Claus. В годы с низкой общей численностью

зоопланктона доминировала группа ветвистоусых ракообразных, где руководящая роль принадлежала *Daphnia longispina* (O.F. Müller) [2].

В биомассе зоопланктона оз. Хорошее также в основном обнаружено увеличение значений при снижении уловов и наоборот. Исключение составлял 2012 г., когда при высоком улове была зафиксирована высокая биомасса зоопланктона (рис. 4).

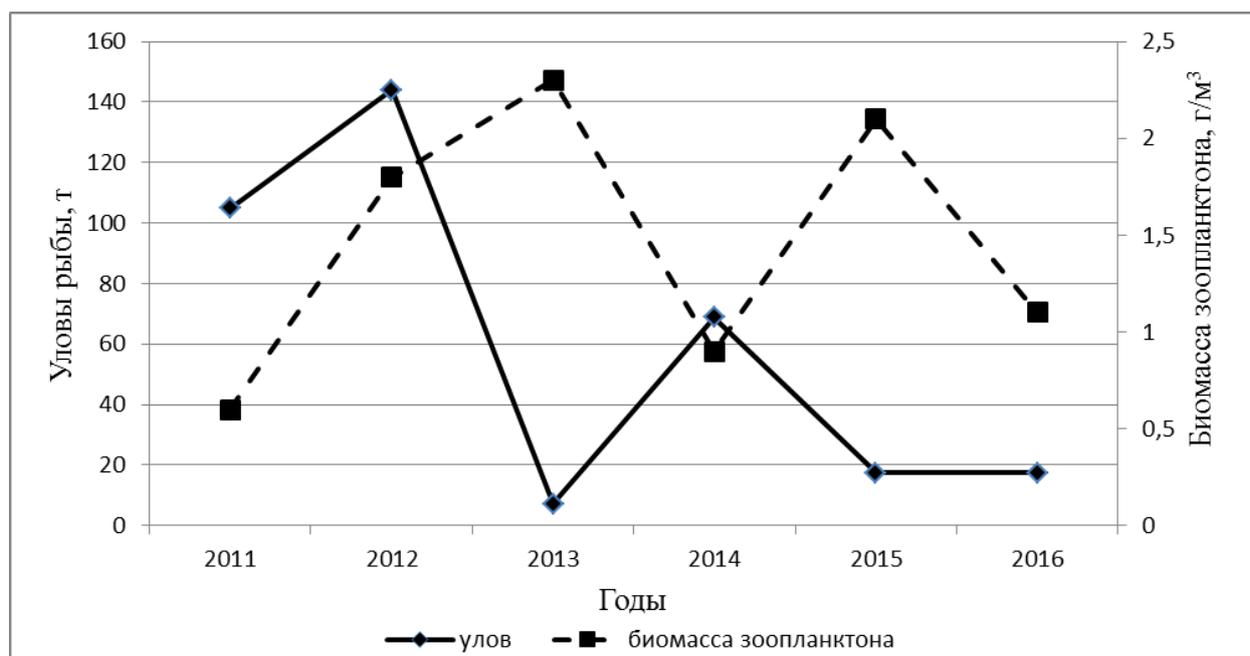


Рис. 4 – Биомасса зоопланктона и уловы рыб в оз. Хорошее

В годы с небольшими уловами и биомассой зоопланктона доминировала группа веслоногих ракообразных. Например, ее доля в 2013 г. составляла 47,1, в 2015 г. – 54,2 % от общей. В годы с высокими уловами и низкой биомассой в структуре зоопланктона отмечалось доминирование как группы веслоногих, так и ветвистоусых ракообразных.

Выводы. По среднеголетним показателям биомассы зоопланктона озера Карасукско-Бурлинской системы относятся к водоемам мезотрофного типа. Однако, в отдельные годы они могут входить в категорию от ультраолиготрофных до гипертрофных.

Изменение показателей зоопланктона зависит от величины уловов рыбы. Коэффициент корреляции зависимости численности зоопланктона от величины уловов рыбы в оз. Хорошее отражал заметную отрицательную зависимость и составлял - 0,6, в остальных озерах – также отрицательную, но

умеренную (-0,3 – -0,4). Сопряженность биомассы зоопланктона и уловов рыбы в озерах умеренно отрицательная (-0,4 – -0,5).

Структура зоопланктона в оз. Хорошее в годы с низкими количественными показателями характеризовалась доминированием группы веслоногих ракообразных, что косвенно свидетельствует об интенсивном использовании в питание ветвистоусых ракообразных промысловыми видами рыб.

Литература

1. Башнева В.С. Статистика в вопросах и ответах: учеб. пособие В.С. Башнева – М.: Проспект, 2004. – 344 с.
2. Визер Л.С., Байльдинов С.Е. Современное состояние зоопланктона озера Хорошее // Вестник НГАУ. – 2017. – № 1 (42). – С. 182-186.
3. Китаев С.П. О соотношении некоторых трофических уровней и «шкалах трофности» озер разных природных зон // V съезд ВГБО. Ч. II. – Куйбышев, 1986. – С. 254-255.
4. Методическое пособие по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. – Л.: ГосНИОРХ, 1982. – 33 с.

**СОСТАВ, СТРУКТУРА ФИТОПЛАНКТОНА, КОНЦЕНТРАЦИЯ
ХЛОРОФИЛЛА И ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ВОДЫ ОЗ
КРАСИЛОВСКОЕ В НАЧАЛЕ ВЕСНЫ ПРИ УСЛОВИИ ЛЕДОСТАВА**

Винокурова Г.В., Коломейцев А.А., Суторихин И.А., Фроленков И.М., Фроленков О.М.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия

e-mail: king@iwep.ru

Аннотация. В мелководном бессточном озере рыбохозяйственного назначения (оз. Красиловское, Алтайский край) в марте 2017 г. проведены гидробиологические и гидрофизические исследования. При толщине льда 0,70 м и высоте снежного покрова 0,15 м выявлена активная вегетация водорослей планктона при температуре воды 0,1-5,0°C. Температура воды, число видов водорослей, их обилие и содержание фотосинтетических пигментов увеличивается от поверхности до глубины 6 м.

Ключевые слова: подледный фитопланктон, хлорофилл «а», температурная стратификация

**PHYTOPLANKTON COMPOSITION AND STRUCTURE, CHLOROPHYLL
CONTENT AND HYDROPHYSICAL WATER PARAMETERS OF LAKE
KRASILOVSKOYE IN ICE-COVERED SPRING**

Vinokurova G.V., Kolomeytsev A.A., Sutorikhin I.A., Frolenkov I.M., Frolenkov O.M.

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia

e-mail: king@iwep.ru

Abstract. Hydrobiological and hydrophysical studies were conducted in a shallow inundated lake of fishery use (Lake Krasilovskoe, Altai Krai) in March 2017. With an ice thickness of 0.70 m and snow cover thickness of 0.15 m, an active plankton algae vegetation was observed at water temperature of 0.1-5.0 °C. The water temperature, the algae species number, algal abundance and biomass, the photosynthetic pigments content increase from the surface to a depth of 6 m.

Keywords: subglacial phytoplankton, chlorophyll «a», temperature stratification

Фитопланктон, как часть биоресурсов, занимает ведущее место в водоемах, так как их биологическая продуктивность зависит в значительной степени от интенсивности развития данного автотрофного звена трофической сети. Водоросли служат источником питания для организмов более высоких трофических уровней, преобразуют поступающие в водную экосистему органические и минеральные вещества и являются одним из показателей состояния водного объекта. Экология планктона внутриконтинентальных водоемов в период открытой воды считается одним из наиболее изученных аспектов. В то же время, сведений о подледном периоде функционирования экосистем мало, хотя водоемы северного полушария, значительный период времени (от 2 до 7-8 месяцев) покрыты льдом. С одной стороны, это связано с трудностями исследования в данный период, с другой стороны, до последнего времени считалось, что зимний период в водных экосистемах менее важен, потому что биологические процессы либо прекращаются, либо

протекают с очень низкой скоростью. Но после выявления интенсивного развития фитопланктона в некоторых арктических, антарктических и высокогорных озерах, интерес к зимнему фитопланктону возрос. Появились данные и о подледном фитопланктоне разнотипных водных объектов умеренных широт (крупных и мелких озер, рек, водохранилищ, прудов). Поэтому исследование подледного фитопланктона оз. Красиловское ($53^{\circ}18'13''$ с.ш., $83^{\circ}36'16''$ в.д.), входящего в перечень важных рыбохозяйственных водоемов Алтайского края [Постановление ..., 2011], имеет отношение как к решению фундаментальных научных проблем, так и представляет существенное практическое значение. Целью данной работы было выявление особенностей развития водорослей подледного планктона в мелководном бессточном оз. Красиловское. В число задач входило определение видового состава, количественных показателей, содержания фотосинтетических пигментов и их связь с некоторыми гидрофизическими и гидрохимическими характеристиками воды.

Материалы и методы. Озерная котловина расположена в межгрядных понижениях на высокой надпойменной террасе правого берега р. Обь на высоте 220 м над у.м. Площадь водосбора составляет $46,1 \text{ км}^2$, площадь зеркала озера $0,8 \text{ км}^2$, длина – 2,4 км, средняя ширина – 0,33 км, средняя глубина – 2,7 м, максимальная – 6,5 м [Суторихин и др., 2016]. Озеро имеет бессточный режим, питается поверхностными и грунтовыми водами [Малолетко, 2006]. Вода имеет слабо щелочную среду (рН 7,15–8,72), повышенное содержание органического вещества (ПО – 6,65–9,16 мг О/дм³), фосфора фосфатов (0,01–0,06 мг Р/дм³), нитритного (до 0,062 мг N/дм³) и аммонийного азота (до 0,71 мг N/дм³). По минерализации вода озера (31,6–55,4 мг/дм³) относится к β -гипогалинным пресным водам гидрокарбонатно-кальциевого типа. Экологическое состояние озера в 2013–2014 гг. по гидрохимическим показателям оценивалось как слабо загрязненное, категория трофности варьировала от мезоэвтрофной до эвтрофной. Кроме того, вода озера весной и летом подвержена хемотратификации по

вышеперечисленным параметрам [Долматова, 2016]. В подледный период (март 2017 г.) содержание фосфора ($0,08 \text{ мг P/дм}^3$) было выше, чем в период открытой воды.

Пробы отобраны 14 марта 2017 г. малообъемным батометром Рутнера на одном из самых глубоких участков озера с поверхности и до глубины 6 м с интервалом 1 м. Параллельно измерялась температура воды прибором ДИТЦ -10/05 с погрешностью $0,1^\circ\text{C}$. Фитопланктон, сконцентрированный фильтрационным способом (фильтры Владипор МФАС-ОС-3), обрабатывали стандартными гидробиологическими методами [Руководство ..., 1992]. Таксономическую принадлежность устанавливали с использованием светового ($\times 650$) микроскопа по Определителям пресноводных водорослей СССР. В данной работе название водорослей приведено по отечественным определителям, в скобках в соответствии с современной номенклатурой по системе AlgaeBase 2017 г. Экологические характеристики водорослей приведены в соответствии с данными С.С. Бариновой и др. [2006], экологическое состояние озера оценивали по классификации, представленной в работе О.П. Окснюк и др. [1993].

Концентрация хлорофилла “а” определялась спектрофотометрированием ацетоновых экстрактов клеток водорослей фитопланктона, осевших на мембранные фильтры с размером пор $0,8 \text{ мкм}$. Измерения проводились на спектрофотометре ПЭ-5400УФ, концентрация хлорофилла рассчитывалась по общепринятой методике в соответствии с ГОСТ 17.1.4.02-90.

Результаты. В фитопланктоне озера выявлено 52 вида водорослей из 4 отделов. Наиболее разнообразно представлены зеленые (28 видов / 53,8%) и синезеленые водоросли (15 видов / 28,8%) (табл. 1).

Таксономическая структура и тенденции ее изменения по глубине. В структуре альгосообществ разных горизонтов выявлено общее: доминирующими по численности и биомассе видами во всей толще воды были синезеленые водоросли (цианобактерии) *Gomphosphaeria lacustris*

Chodatella и *Microcystis pulverea* (H.C.Wood) Forti. Данные водоросли образуют колонии размером до 65417 и 98125 мкм³ соответственно, хотя размер клеток сопоставим с размерами клеток пикопланктона (2-4 мкм).

Таблица 1 – Состав фитопланктона оз. Красиловое, март 2017 г.

Отдел	Глубина, м						
	0	1	2	3	4	5	6
Сyanophyta (Cyanobacteria)	6	3	4	8	10	8	6
Bacillariophyta	0	2	3	1	0	0	2
Chlorophyta	2	1	7	4	8	16	10
Euglenophyta	0	1	2	0	0	1	2
общее число видов	8	7	16	13	18	25	20

Вертикальное распределение фитопланктона неравномерное (рис. 1), но наблюдается тенденция увеличения структурных и количественных показателей от поверхности (непосредственно подо льдом) до глубины 6 м. Общее число видов в этом направлении увеличилось в 3 раза. Эвгленовые и диатомовые водоросли в поверхностном слое воды отсутствуют, а на остальных глубинах встречаются по 1-3 виду из каждого отдела. Большинство диатомовых водорослей представлено пустыми створками, в вегетирующем состоянии отмечены только *Cyclotella* sp. и *Navicula* sp. Кроме того, цвет хроматофоров живых диатомей значительно бледнее, чем в период открытой воды.

Существенные изменения происходят в таксономическом составе синезеленых и зеленых водорослей. Из синезеленых водорослей на каждом горизонте (за исключением 1-2 м) выявлено по 6-10 видов. Кокоидные формы из родов *Gomphosphaeria*, *Microcystis*, *Gloeocapsa*, *Merismopedia*, *Holopedia*, *Cyanodictyon*, *Cyanarcus*, *Aphanothese* отмечены на всех горизонтах, нитчатые же формы из родов *Oscillatoria*, *Spirulina*, *Anabaena* появляются в составе сообществ, начиная с глубины 3 м и ниже.

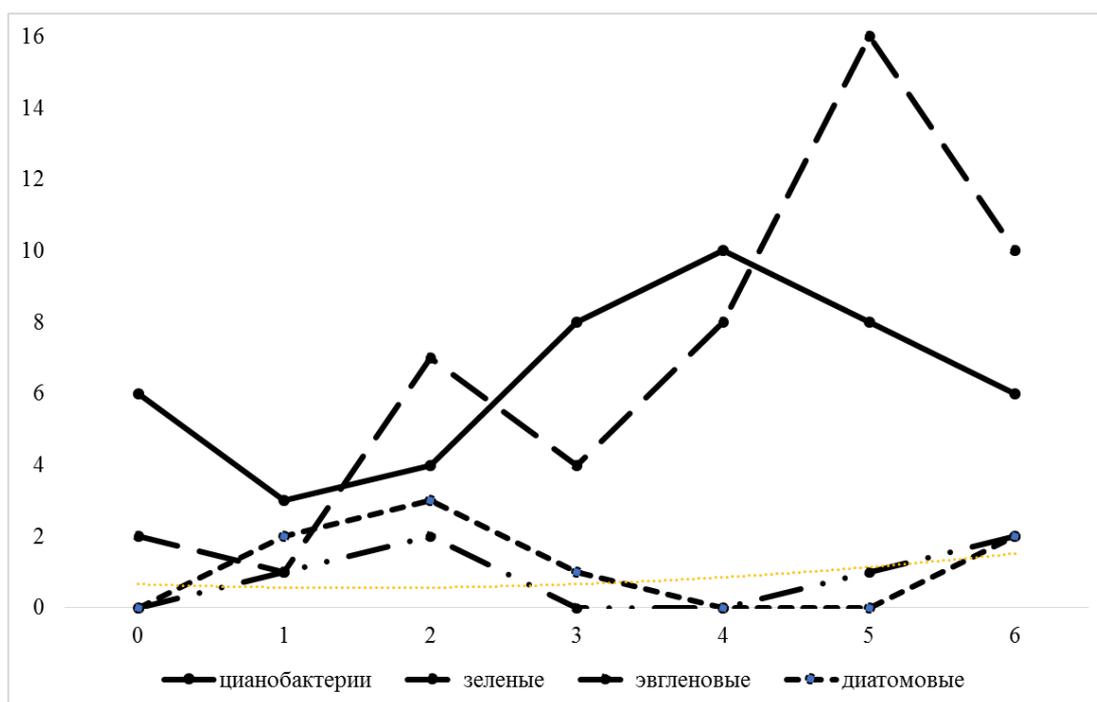


Рис. 1 – Изменение числа видов (ось ординат) водорослей зимнего планктона оз. Красиловское на разной глубине (ось абсцисс) в марте 2017 г.

Зеленые водоросли представлены одноклеточными хлорококковыми (25 видов), вольвоксовыми (1 вид) и десмидиевыми (2 вида) водорослями. Наиболее разнообразны представители рода *Scenedesmus* (9 видов). В верхних горизонтах отмечено мало (1-4) видов, но начиная с 4 м глубины видовое разнообразие зеленых резко возрастает (8-16 видов) и связано это с появлением *Scenedesmus armatus* (Chodat) Chodat, *S. caudato-aculeolatus* Chodat, *S. falcatus* Chodat, *S. grahneisii* (Heynig) Fott, *S. quadricauda* (Turpin) Brébisson in Brébisson & Godey, *S. sempervirens* Chodat, *S. spinosus* Chodat.

Отмечено увеличение интенсивности окраски хлоропластов зеленых водорослей по мере увеличения глубины, что может свидетельствовать об увеличении «жизненной активности» клеток в направлении «лед-дно».

В этом направлении выявлена также тенденция увеличения количественных показателей (рис. 2-3). Численность водорослей в слое от поверхности (подо льдом) до 2 м варьировала в пределах 1,8-5,8 млн кл./л, на глубине 3-6 м – от 9,8 до 49,2 млн кл./л, биомасса, соответственно, 0,9-2,1 мг/л и 0,8-12,2 мг/л.

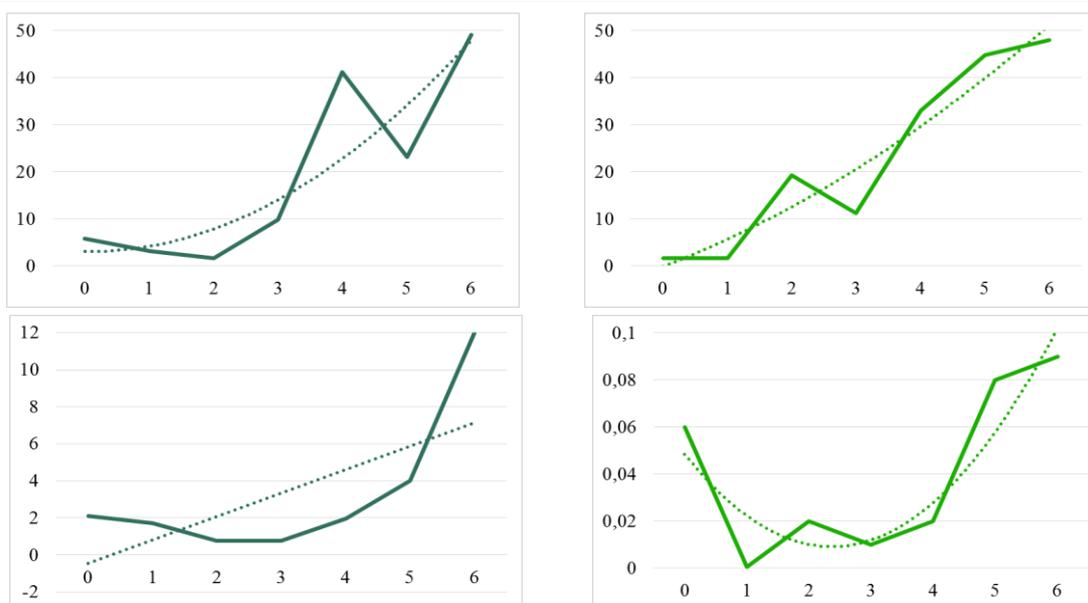


Рис. 2 – Количественные показатели зимнего фитопланктона оз. Красиловское на разной глубине, март 2017 г. Примечание: 1а – численность синезеленых, млн кл./л, 1б – биомасса синезеленых, г/м³, 2а – численность зеленых, тыс. кл./л, 2б – биомасса зеленых, г/м³; прерывистая линия – линия тренда

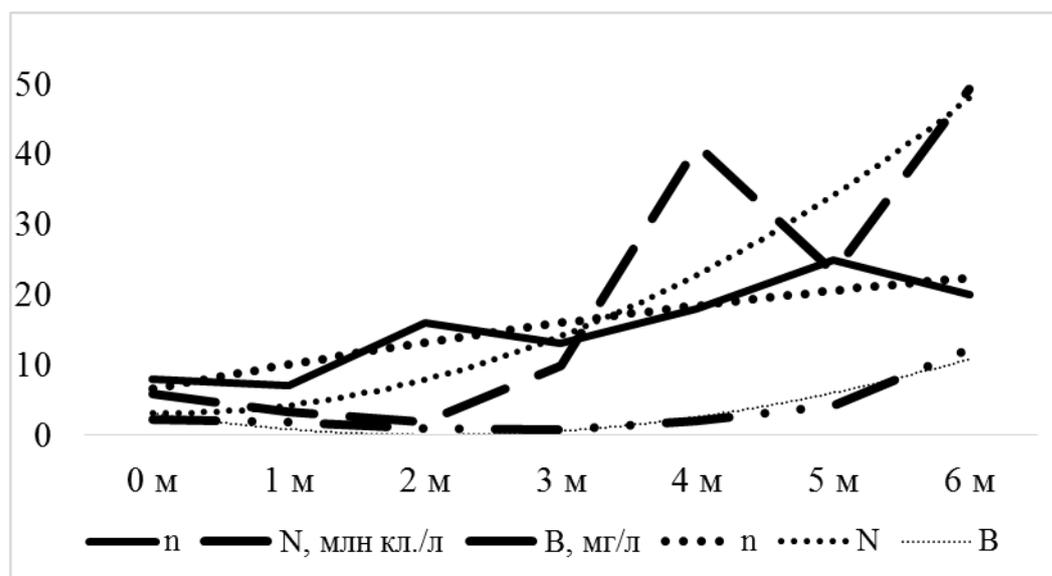


Рис 3 – Изменение общего числа видов, общей численности и биомассы зимнего фитопланктона оз. Красиловское на разной глубине, 14 марта 2017 г. прерывистая линия – линия тренда

Оценка экологического состояния. Альгофлора зимнего планктона озера носит космополитный характер (24 вида / 46% общего состава). Среди видов-индикаторов минерализации практически все относятся к олигосапробам (за исключением одного вида-мезосапроба). Бóльшая часть видов с известным отношением к органическому загрязнению отражает высокое содержание органического вещества в воде: мезосапробов – 23%, альфатамезосапробов, альфамезосапробов, олигоальфамезосапробов –

15%. Определить реакцию среды по составу фитопланктона не представилось возможным из-за отсутствия видов-индикаторов.

Подо льдом и на глубине 1 м значения индекса сапробности по численности и биомассе отличаются: 1,77-2,86 (0 м) 2,68-4,33 (1 м). Ниже (3-6 м) значения индекса сапробности по численности и биомассе одинаковы и лежат в пределах 1,60-1,63. Соответственно данным показателям, качество воды подо льдом значительно хуже (слабо и умеренно загрязненная (III,3б – IV,4а)), чем в нижерасположенном слое воды (достаточно чистая (III,3а)).

Если же оценивать качество воды по биомассе, то динамика загрязнения имеет несколько иную картину. От поверхности воды до глубины 3 м качество воды повышается от слабо загрязненной (III, 3б) до вполне чистой (II, 2б), а от 3 до 6 м понижается до сильно загрязненной IV(4б). Учитывая, что при расчете индекса сапробности не во всех пробах оказалось достаточного числа видов-индикаторов (менее 14 видов), то в данном случае объективнее оценить качество воды по биомассе. Таким образом, в среднем слое воды ее качество значительно лучше, чем подо льдом и у дна.

Трофность озера, оцененная по биомассе фитопланктона [Оксиюк и др., 1993], варьирует по глубине следующим образом: 0 м – эвтрофная, 1 м – мезоэвтрофная, 2-3 м – мезотрофная, 4 м – мезоэвтрофная, 5 м – эвтрофная, 6 м – политрофная.

Содержание хлорофилла «а» в водорослях планктона варьировало от 5,52 до 24,11 мг/м³. Вертикальное распределение данного фотосинтетического пигмента представлено на рисунке 4. Прослеживается общая тенденция увеличения содержания хлорофилла с ростом глубины.

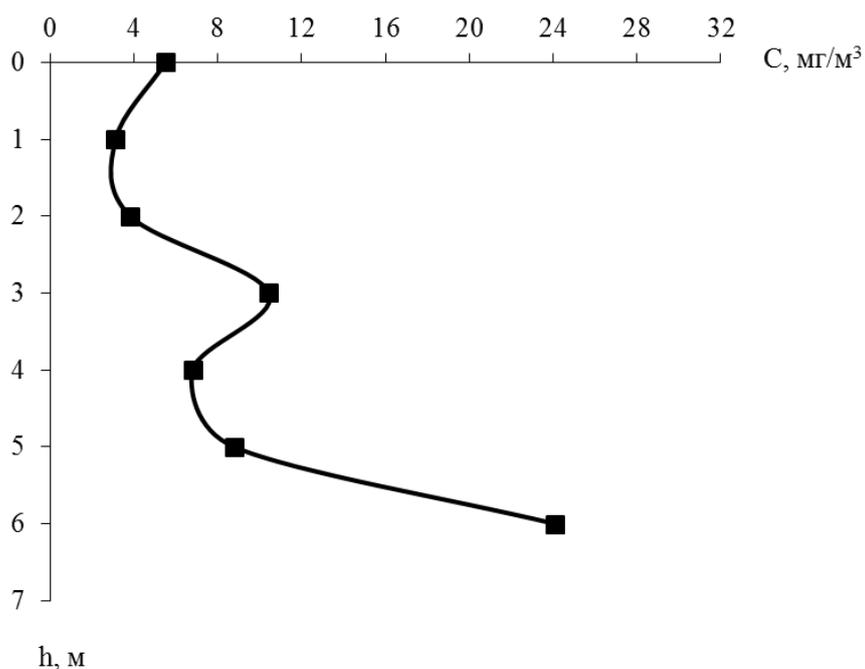


Рис. 4 – Динамика хлорофилла «а» на разных глубинах оз. Красиловское, март 2017 г.

Содержание хлорофилла «а» в единице биомассы. Большая часть значений (86%) хлорофилла «а» находились в диапазоне 0,18-0,44 и только на глубине 6 м это соотношение достигло максимального значения 1,34. Других четких тенденций изменения содержания хлорофилла в единице биомассы фитопланктона не выявлено.

Температура воды. Выявлено постепенное повышение температуры воды от поверхности (подо льдом) до дна озера от 0,1 до 5,0⁰С (рис. 5) – тенденция, наблюдаемая в неглубоких водоемах умеренных широт в период ледостава. Наиболее высокое значение зарегистрировано у дна озера (5⁰С).

Заключение. В подледный период (14 марта 2017 г.) при толщине льда 0,70 м, высоте снежного покрова 0,15 м при низкой температуре воды (0,1-5,0⁰С) на бессточном мелководном оз. Красиловском выявлена активная вегетация водорослей планктона, представленных, главным образом, зелеными водорослями и цианобактериями. Интенсивность окраски клеток мало отличается от таковой в летний период и усиливается по мере увеличения глубины, что может свидетельствовать об увеличении «жизненной активности» клеток в направлении «лед-дно». В отличие от зеленых водорослей и цианобактерий, диатомовые водоросли находятся в

стадии покоя или представлены пустыми створками. Предположение об активной вегетации, сделанное на основе микроскопических наблюдений, подтвердилось данными по содержанию хлорофилла «а» в водорослях планктона. Низкая температура воды в данный период не является основным фактором, лимитирующим развитие водорослей. Для выявления причин активной вегетации водорослей в озере в условиях ледостава и увеличения их обилия с ростом глубины при, казалось бы, полном отсутствии света подо льдом, требуются дальнейшие исследования.

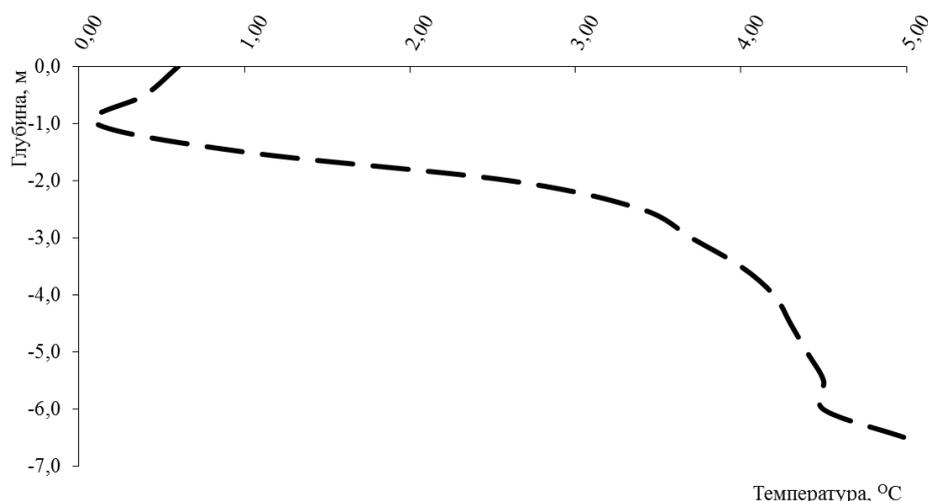


Рис. 5 – Температура воды на разной глубине, оз. Красиловское, 14 марта 2017 г.

Литература

1. ГОСТ 17.1.4.02-90. Государственный контроль качества воды. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла "а". – М.: Изд-во стандартов, 2003. – С. 587–600.
2. Долматова Л.А. Особенности гидрохимического режима оз. Красиловское (бассейн Верхней Оби) // *Вода: химия и экология*. – 2016. – № 7. – С. 9-15.
3. Малолетко А.М. Эоловые процессы как фактор речных перехватов в Верхнем Приобье // *География и природопользование Сибири: сборник научных статей*. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та. – 2006. – Вып. 8. – С. 108-117.
4. Оксийук О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П. и др. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // *Гидробиологический журнал*. – 1993. – Т. 29. – Вып. 4. – С. 62-76.
5. Постановление Администрации Алтайского края № 711 от 08.12.2011 «О внесении изменений в постановление Администрации края № 467 от 20.10.2010 «Об утверждении перечня рыбопромысловых участков». – Барнаул, 2011.
6. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. В.А. Абакумова. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – 318 с.
7. Суторихин И.А., Букатый В.И., Харламова Н.Ф., Акулова О.Б. Климатические условия и гидрооптические характеристики пресноводных озер Алтайского края. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2016. – 162 с.

ЭКОЛОГИЯ УКЛЕЙКИ *ALBURNUS ALBURNUS* РЕКИ ИНИ

Власов С.О.¹, Катохин А.В.², Крылова Е.Н.³

¹ *Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия*

² *Институт цитологии и генетики СО РАН, г. Новосибирск Россия*

e-mail: vlasov@iwep.ru

Аннотация. В статье рассмотрены возрастной состав, линейный и весовой рост особей, половая структура популяции, биологические характеристики питания, спектры питания рыб, зараженность метацеркариями трематод уклейки *Alburnus alburnus* (Linnaeus, 1758) в р. Иня Кемеровской области. Возрастной ряд рыб определен от годовиков до семигодовиков, при отсутствии шестигодовиков. Рост типичен для популяций короткоцикловых рыб. В половой структуре наблюдали преобладание самок, что характерно для популяций карповых рыб. По питанию отмечены средние показатели наполнения желудочно-кишечного тракта и содержания полостного жира. В мышцах рыб обнаружены метацеркарии трематод, в том числе и сем. *Opisthorchiidae*, опасных для человека.

Ключевые слова: уклейка, экология, зараженность трематодами, р.Иня.

ECOLOGY OF BLEAK *ALBURNUS ALBURNUS* FROM INYA RIVER

Vlasov S.O.¹, Katokhin A. V.², Krylova E. N.³

¹ *Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia*

² *Institute of Cytology and Genetics SB RAS, Novosibirsk, Russia*

e-mail: vlasov@iwep.ru

Abstract. The article considers for bleak *Alburnus alburnus* (Linnaeus, 1758) in R. Inya, Kemerovo region the age composition of fish, the linear and weight growth of individuals, the sex structure of population, the biological features and spectra of fish feed as well as the infection of by trematodes metacercaria. The age structure was represented by individuals from yearling to seven year old, except for six year old ones. Growth was typical for short-cycle fish populations. Predominance of females was observed in the sex structure that is characteristic of carp fish populations. The study showed mean filling of a gastrointestinal tract and cavitory fat content Fish muscles contained dangerous to humans *Opisthorchiidae* family metacercaria of trematodes.

Keywords: bleak, environment, trematode infection rate, R.Inya

Введение

По схеме зоогеографического разделения территории Палеарктики, основанной на учете видового состава пресноводных рыб, водоемы бассейна Верхней Оби входят в Сибирский округ Ледовитоморской провинции циркумполярной подобласти [2, 3]. При более детальном ихтиологическом районировании, учитывая неоднородность списков таксонов рыб, Б.Г. Иоганзен [5] в пределах самостоятельного Западно-Сибирского округа выделил 10 ихтиогеографических участков.

Из них к бассейну Верхней Оби отнесены Алтайский, Обско-Чулымский и Барабо-Кулундинский. Река Иня относится к Обско-Чулымскому участку, который занимает верхнюю часть Обского бассейна, за исключением верховьев Бии и Катуня и располагается в пределах незаморной зоны Оби. Участку свойственно 30 видов рыб, среди них нет

эндемичных и специфичных форм. Участок характеризуется: 1) преобладанием карповых при относительно большой роли лососевых; 2) резким доминированием общепресноводных и речных форм; 3) наличием широко распространенных европейско-сибирских и сибирских форм при недостатке западно-сибирских видов и подвидов рыб.

Река Иня (правый приток р. Оби), протекающая по слаборасчлененной Северо-Кузнецкой равнине зарегулирована в верхнем течении плотиной, в районе пос. Инской, Беловского района Кемеровской области. Беловское водохранилище, введенное в эксплуатацию в 1964 г., служит водоемом – охладителем в системе оборотного водоснабжения построенной здесь ГРЭС.

Видовой состав рыб р. Иня представлен характерной для небольших водотоков местной ихтиофауной, а также находится под сильным воздействием фауны рыб Беловского водохранилища.

Ихтиофауна Беловского водохранилища сформировалась путем естественного вселения рыб, распространенных в реке Иня и ее притоках, и в результате искусственного зарыбления водоема.

В настоящее время в водохранилище обитают или временно присутствуют предположительно 25 видов рыб из 8 отрядов 11 семейств 22 родов. Из них 15 видов туводные (сибирская минога, сибирский хариус, обыкновенная щука, серебряный карась, золотой карась, пескарь, язь, елец, обыкновенный голяк, плотва, линь, сибирская щиповка, налим, обыкновенный ерш, речной окунь), 2 вида условно туводные (верховка, песчаная широколобка), 7 интродуцированных видов рыб, вселенных за время существования водохранилища (пестрый толстолобик, белый толстолобик (и их гибрид), белый амур, сазан, большеротый буффало, черный буффало, канальный сомик) и 1 вид предположительно присутствующий в водохранилище в следствии проникновения из садков рыбного хозяйства (веслонос).

Особый интерес представляют виды рыб искусственно вселенные в водохранилище из рыбного садкового хозяйства. Это – сазан (каarp), успешно

размножающийся, достигая массы 30 кг, белый амур, встречаются особи до 30 кг., чаще 5-12 кг, пестрый толстолобик, который акклиматизировался в водоеме и достигает массы 40 кг., преобладают особи 2-26 кг, белый толстолобик – встречается очень редко.

Потенциально в настоящее время в р. Иня, может обитать до 20 видов рыб, относящихся к 5 отрядам, 9 семействам, 17 родам. Из них наибольшее число таксонов относится к бореальному равнинному комплексу – 14 видов и 11 родов (*Acipenser*, *Esox*, *Leuciscus*, *Phoxinus*, *Gobio*, *Carassius*, *Rutilus*, *Tinea*, *Perca*, *Gymnocyphalus*). Бореальный предгорный комплекс представлен 2 видами и 2 родами (*Hucho*, *Thymallus*). Представители арктического пресноводного комплекса, как и бореального предгорного, характеризуются бедностью таксономического состава и включают представителей родов *Stenodus* и *Lota*. Все они относятся к туводным аборигенным видам рыб. Два вида *Abramis brama* (Linnaeus, 1758) и *Stizostedion lucioperca* (Linnaeus, 1758) являются акклиматизантами.

В реке Ине уклейка является случайным вселенцем, изначально как продукт инвазии с посадочным материалом в Беловское водохранилище, далее в результате естественного распространения и акклиматизации.

По результатам опроса рыбаков-любителей в р. Иня в районе г. Ленинск-Кузнецкий отмечается относительно большое количество уклейки, карася, уменьшение численности окуня и щуки. Современный видовой состав ихтиофауны реки требует изучения и уточнения.

Цель работы – изучить некоторые аспекты экологии уклейки реки Ини, как случайного вселенца, выявить её роль в распространении опасных для человека биогельминтов.

Материал и методы

Материалом исследования послужили 30 экземпляров рыб, выловленных на поплавочные крючковые удилища в р. Иня 26 мая 2017 года. В полевых условиях были визуальным образом определены следующие показатели: видовой статус, пол, стадия зрелости половых гонад, степень наполнения

желудка, полостной жир. Отобрана чешуя для возрастного анализа (чешуйные книжки) и заспиртованы желудки для определения качественного и количественного состава пищевых объектов. Для морфометрического анализа в лабораторных условиях исследуемых рыб фотографировали на светлом масштабированном фоне зафиксированным вертикально цифровым аппаратом.

Произведен визуальный осмотр исследуемых рыб на поражения внешних и внутренних органов. Исследовано содержание кишечников, дана сезонная и видовая характеристика питания. Произведен анализ наличия паразитофауны.

В лабораторных условиях были исследованы следующие показатели: пластические – длина всей рыбы (абсолютная длина), длина до начала разреза хвостового плавника (длина по Смиту), длина без хвостового плавника (промысловая длина), длина туловища, длина рыла, диаметр глаза (горизонтальный), длина заглазничного отдела головы, длина головы, высота головы у затылка, наибольшая и наименьшая высота тела, весовые – общая масса рыбы, общая масса рыбы и вес без внутренностей и масса внутренностей. Определен возраст.

Морфометрические измерения произведены по снимкам исследуемых рыб с использованием программы PhotoM 1.2. (разработчик – А. Черниговский, ФТИ им. Иоффе РАН). Для определения весовых показателей использованы электронные весы ВА-15Т2 с точностью до 0,5 г. Чешуйки исследованы с помощью бинокля Technival-2.

Полевые сборы и лабораторная обработка ихтиологического материала проведены по общепринятым в ихтиологии методикам [7]. Возраст исследуемых рыб определен по чешуйным препаратам. Стадия зрелости половых гонад определены по шестибалльной схеме (0-5). Степень наполнения желудка, наличие полостного жира оценено визуально, по четырехбалльной шкале (0-3). Оценка состояния органов рыб проведена

визуально, по признакам, выраженным в изменении формы, цвета и структуры внешних и внутренних органов.

Для определения степени упитанности использован широко применяемый коэффициент Фультона (Q), вычисляемый по формуле [7].

$$Q = w \times 100 / l^3$$

где: Q – коэффициент упитанности;

w – вес рыбы, г;

l – длины тела (от начала рыла до конца чешуйного покрова), см.

Этот показатель, наряду с баллом содержания полостного жира отражает долгосрочные условия питания рыбы, комфортность среды обитания или ее угнетающее воздействие на организм.

Для выявления зараженности рыбы метацеркариями описторхид применяли компрессорный метод [4].

Результаты исследований

Все 30 экземпляров исследуемых рыб относятся к виду *Alburnus alburnus* (Linnaeus, 1758) – уклейка (отряд Cypriniformes, семейство Cyprinidae (Bonaparte, 1832), род *Alburnus* (Rafinesque, 1820). Тело удлиненное, стройное, сжатое с боков. Рот конечный, косо направлен вверх. Глаза большие. Чешуя тонкая, ярко-серебристая, легко опадает и обильно «уклеивает» руки рыболова. Между брюшным и анальным плавниками имеется кожистый киль без чешуи. Анальный плавник удлиненный. Окраска тела пелагическая: спина зеленовато-серая, бока и брюшко серебристые, плавники бесцветные [1].

Уклейка обитает в реках, озерах, водохранилищах и проточных прудах. Встречается она и в солоноватых водах устьев рек и заливов. Держится стаями в верхнем слое воды, чаще – на слабом течении в заливах и заводях. Летом нередко плещется, выпрыгивая из воды [1].

Вид широко распространен в Европе и отсутствует в Азии. В 1990-х гг. уклейка была обнаружена в р. Тобол в пределах Курганской и Тюменской областей, куда она, вероятно, проникла из бассейна р. Урал, зимой 2000 г. – в

р. Ишим (левый приток Иртыша) возле Петропавловска. В 1973 г. уклейка обнаружена на территории Новосибирской области в оз. Хорошее Бурлинской системы озер – в этот водоем эта рыбы была случайно завезена вместе с карпом из прудовых хозяйств европейской части СССР. К новым условиям жизни уклейка хорошо адаптировалась и в настоящее время в оз. Хорошее сравнительно многочисленна. С 1999-2000 г. уклейка – массовый вид в р. Томь, где она является объектом любительского рыболовства.

Возрастной состав улова

Возрастной ряд рыб определен от 1 (годовики) до 7 (семигодовики). В исследуемом материале отсутствуют шестигодовики, вероятно, как результат случайной выборки. Преобладающие возрастные группы 4 (четырёхгодовики) и 5 (пятигодовики) – 60% от общего числа. Средний возраст 4 года.

Обычная продолжительность жизни представителей вида – 10-12 лет [1]. По выборке материала можно предположить, что вид присутствует в водотоке не менее 7 лет, но полного возрастного ряда местная популяция еще не достигла (табл. 1).

Линейный и весовой рост

Абсолютные показатели длины тела – 55,3-176,0 мм (среднее значение 137,9), массы от 1,5 до 43 г (среднее значение 17,3). Для сравнения – максимальная длина уклейки в водоемах Европы – 20 см, масса – 60 г, обычные размеры в уловах 19-24 см и 10-12 г [1]. В целом не отмечено тугорослых форм. Рост типичен для популяций короткоцикловых рыб, что говорит о достаточном питании (табл. 1).

Половая структура популяций

В половой структуре наблюдаем преобладание самок (17 экз.), процентное соотношение в улове 40:57 (при 3% неполовозрелых особей). Данные колебания пропорций полов характерны для популяций карповых рыб.

Половозрелой уклейка становится на третьем году жизни при длине 7-8 см. Нерест порционный и происходит с мая по июль при температуре воды

не ниже 15-16 °С. Обычно самка откладывает за этот срок 3 порции (некоторые самки – до 6) икры с промежутками между кладками в 10-11 дней. Икра выметывается на подводную растительность, реже – гальку и камни, на глубине 7-50 см. Икринки клейкие, желтовато-оранжевого цвета, диаметром 1,5-1,9 мм. ИАП от 3 до 10,5 тыс. икринок. Инкубационный период при температуре воды 21°С длится 75-80 ч [1].

Биологические характеристики питания

Наполнение желудочно-кишечного тракта варьирует от 1 до 3 баллов (среднее значение 2,4) Полостной жир – от 0 до 3 баллов (среднее значение 1,97). Значительные колебания данных показателей указывают на нестабильный характер питания.

Коэффициент упитанности варьирует от 0,78 до 1,6 балла, со средним значением 1,02 балла. За 1 принята норма отношения длины тела к весу рыбы. Значение близкое к 1 и более свидетельствует о хороших долгосрочных условиях питания, комфортности среды обитания и отсутствии угнетающего воздействия на организм (табл. 1).

Спектр питания

Обычно молодь питается микроскопическими водорослями и мелким зоопланктоном, взрослые особи – планктоном, воздушными насекомыми и их водными личинками, иногда икрой, личинками и мальками рыб, в том числе своего вида.

В мае 2017 г. в кишечниках 30 особей уклейки было обнаружено шесть пищевых компонентов. Весной в р. Ине рыба предпочитала питаться водорослями, которые составляли от 10 до 100% пищевого комка и отмечены в кишечниках всех рыб. Кроме водорослей, в кишечниках 43% рыб содержался мелкий детрит (8-50% пищевого комка), у 20% – насекомые (10-60%), а также жесткая растительность, хирономиды и дафнии (рис. 1).

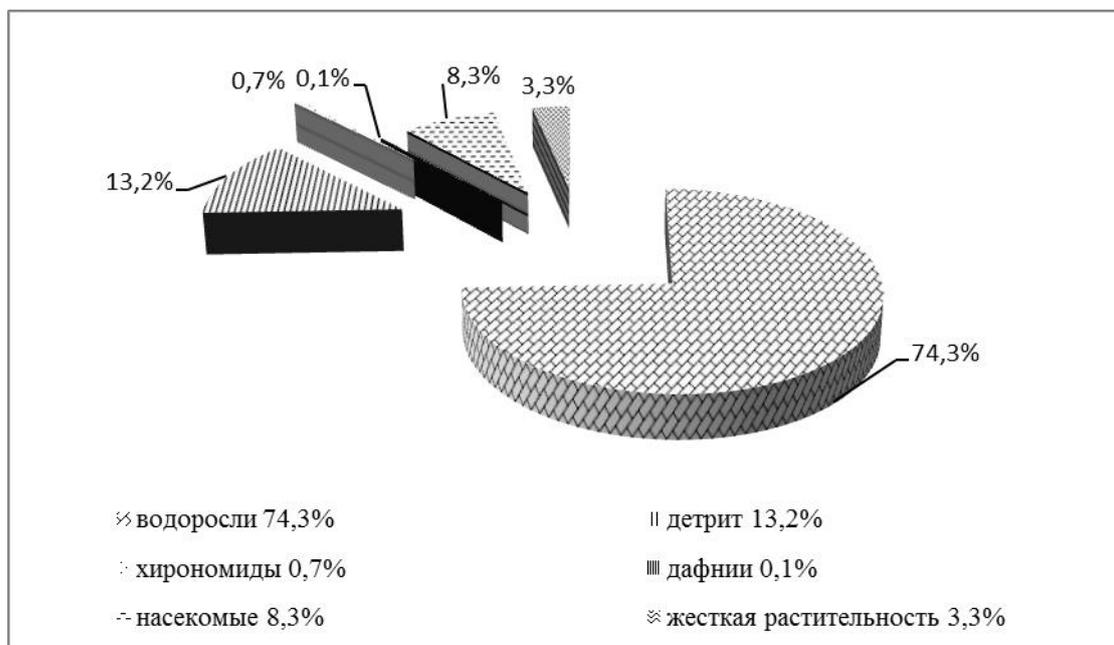


Рис.1 – Спектр питания уклейки р. Инья, май 2017 г.

По питанию отмечены средние показатели наполнения желудочно-кишечного тракта и содержания полостного жира. Возможно временное ухудшение режима питания рыб под воздействием весеннего паводка. Кроме того, у многих видов рыб наблюдаются изменения в питании, связанные с циклом развития беспозвоночных, их миграциями и доступностью [6].

Состояние внешних и внутренних органов. Патологии

Патологий внешних и внутренних органов не отмечено.

Паразиты. Зараженность метацеркариями трематод

При использовании компрессорного метода исследования мышц, в рыбе были выявлены метацеркарии различных видов трематод, в том числе, представляющих опасность для человека – *Opisthorchis felineus* Rivolta, 1884; *Metorchis bilis* (Braun, 1890), а также *Metorchis xanthosomus* (Creplin, 1846), статус инвазивности которого не определен. Кроме того, обнаружены метацеркарии трематод сем. *Syathocotylidae* (*Syath*), окончательными хозяевами которых являются птицы (табл. 2). Метацеркарии трематод встречаются в мышцах половины рыб. Метацеркарии при смешанной инвазии *O. felineus* и *M. bilis* (Of/Mb) – с частотой 27%, а *M. xanthosomus* (Mx) – 17%. Количество гельминтов на одну исследованную рыбу составляло соответственно Of/Mb – 0,7 экз., Mx – 0,5 экз, с интенсивностью Of/Mb – 2,5 экз., Mx – 2,8 экз.

Роль паразитов в поддержании биологического разнообразия и устойчивости экосистем рассматривается как не ординарная. С одной стороны, они составляют часть биологического разнообразия и играют важную роль регулирующего механизма, с другой – при срыве регуляторных механизмов и превышении паразитарной нагрузки причинить значительный ущерб популяции хозяев. В реке Иня наиболее заражены самки старших возрастов, возможно, потому что самок больше, чем самцов. Так же Беэр [4] указывает на накопление метацеркариев в мышцах рыб с увеличением возраста. Опираясь на вышесказанное, можно говорить о том, что уклейка в р. Иня удачно прижилась и акклиматизировалась. Судя по мнению рыболовов-любителей, она становится доминирующей в уловах. Как и все карповые она стала вторым промежуточным хозяином трематод. Таким образом, существует высокая вероятность заражения человека в Кемеровской области опасными паразитарными заболеваниями (описторхоз, меторхоз) при употреблении в пищу местной уклейки без надлежащей термической обработки.

Таблица 1 – Морфометрические и морфофизиологические характеристики уклейки р. Иня, 26 мая 2017 г.

Показатели	max	min	среднее значение
Длина всей рыбы (L, мм)	176,0	55,3	137,9
Длина тела по Смитту (Lsm)	159,0	48,6	124,7
Длина тела (l)	147,0	45,4	115,2
Длина туловища (od)	121,0	34,2	91,9
Длина рыла (an)	8,1	2,7	5,3
Диаметр глаза (np)	9,2	4,2	7,4
Длина заглазн. отдела головы (po)	14,0	4,3	11,2
Длина головы (ao)	29,9	11,2	23,6
Высота головы у затылка (lm)	26,6	8,0	18,0
Наибольшая высота тела (gh)	37,5	9,7	26,9
Наименьшая высота тела (ik)	12,7	4,4	10,0
Масса общая (Q,г)	43,0	1,5	17,3
Масса без внутренностей (q,г)	35,0	1,0	14,0
Масса внутренностей (г)	13,5	1,0	3,3
Стадия зрелости (балл)	5	1	3,6
Возраст (лет)	7,0	1,0	4,2
Полостной жир (балл)	3	1	2,0
Наполнение кишечника (балл)	3	1	2,4
Коэффициент упитанности (Q)	1,6	0,8	1,0

Таблица 2 – Зараженность уклейки р. Иня метацеркариями трематод, 26 мая 2017 г.

Кол-во экземпляров	пол	стадия зрелости	все метацеркарии с середины спины	тотально Of/Mb	тотально Mx	тотально мц др.
1	молодь	juv	-	-	-	-
1	самец	1	-	-	-	1
1	самка	2	-	-	-	-
6	самец	2	-	-	-	1
2	самка	3	-	-	-	-
4	самец	3	3	-	10	1
2	самка	4	1	-	2	1
1	самец	4	-	-	-	-
12	самка	5	4 Of/Mb/Mx, 8 (Cyath)	6	-	6

Выводы

1. Преобладающие возрастные группы исследуемой популяции уклейки – 4 (четырёхгодовики) и 5 (пятигодовики) – 60% от общего числа. Средний возраст 4 года.

2. В популяции не отмечено тугорослых форм, рост типичен для популяций короткоцикловых рыб, что говорит о достаточном питании.

3. В половой структуре преобладают самки, процентное соотношение 40:57 (при 3% неполовозрелых особей). Данные колебания пропорций полов характерно для популяций карповых рыб.

4. Среднее значение наполнения кишечника – 2,4 балла; полостного жира – 1,97 баллов. Значительные колебания данных показателей указывают на нестабильный характер питания.

5. Коэффициент упитанности варьирует от 0,78 до 1,6 балла, со средним значением 1,02 балла. Значение близкое к 1 и более свидетельствует о хороших долгосрочных условиях питания, комфортности среды обитания и отсутствии угнетающего воздействия на организм.

6. В кишечниках обнаружено шесть пищевых компонентов, из которых, водоросли составляли от 10 до 100% пищевого комка и были отмечены в кишечниках всех рыб.

7. В рыбе выявлены метацеркарии различных видов трематод, в том числе, представляющих опасность для человека – *Opisthorchis felineus* Rivolta, 1884; *Metorchis bilis* (Braun, 1890), а также *Metorchis xanthosomus* (Creplin, 1846). Наиболее заражены самки пятилетнего возраста.

Литература

1. Атлас пресноводных рыб России. – М.: Наука, 2003. – Т. 1. – 378 с. – Т. 2. – 252 с.
2. Берг Л.С. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1949а. – Т. 2. – С. 469-929.
3. Берг Л.С. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1949б. – Т. 3. – С. 930-1381.
4. Беэр С.А. Биология возбудителя описторхоза. – М.: КМК, 2005. – 336 с.
5. Иоганзен Б.Г. 1946. Этюды по географии и генезису ихтиофауны Сибири. I. Зоогеография Сибири и место в ней бассейна р. Оби // Учен. зап. Том. ун-та. – № 1. – С.26-27.
6. Никольский Г.В. Теория динамики стада рыб. – М.: Пищевая пром-ть, 1974. – 448 с.
7. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. – М.: Пищевая пром-ть, 1966. – 376 с.

О ПОЛИБИОМЕ ЕНИСЕЯ

Гайденок Н.Д.

г. Красноярск, Россия

e-mail: ndgay@mail.ru

Аннотация. В работе приводятся результаты исследований экологической системы Енисея. Показано ее соответствие статусу полибиома

Ключевые слова: Енисей, экосистемный континуум, полибиом

ABOUT ENISEY'S POLYBIOM

Gaydenok N.D.

Krasnojarsk, Russia

e-mail: ndgay@mail.ru

Abstract. The Results of investigation of Enisey's Ecosystem has cited in Article. A its Conformity to Polybiom's Status has shown

Keywords: Enisey, ecosystem Continuum, Polybiom

Введение. Понятие полибиома по сути дела является дальнейшим развитием и детализацией понятия реобиома, предложенного в 1995 г В.В. Богатовым [1]. Прообразы понятия реобиома находятся в работах К.Р. Таунсенда (Townsend, 1987, 1989) и Р.Л. Ваннота (1980) (цитир. по [1]) Поскольку в указанных публикациях реобиом по сути дела является аналогом экосистемного континуума наземной экологии (рис. 12), то такая смысловая нагрузка, вполне пригодная для целей таксономии и изучения локальной продуктивности, крайне недостаточна для обобщающих системных исследований, особенно для переноса субстанции на границе «река-море» (рис.11) отражающего связь реобиома с другими подразделениями биосферы.

Цель исследований. Вышеизложенное вызывает необходимость для введения более общих категорий системной экологии и чтобы наглядно представить базис проблемы приведем описание экологической системы Енисея, имеющей статус полибиома, обозначаемого ниже, как ПБЕ.

Результаты исследований и выводы. Енисей, пятая Великая река Планеты, имел в период естественного стока протяженность в 4102 км, площадь бассейна в 2.58 млн. км², которая равна 6 % от территории Азии. По объему стока с территории бассейна, который находится в пределах 595 – 623 км³, он занимает первое место среди Великих рек Сибири. На своем протяжении в данный период он пересекал 9 природных зон – рис.1.

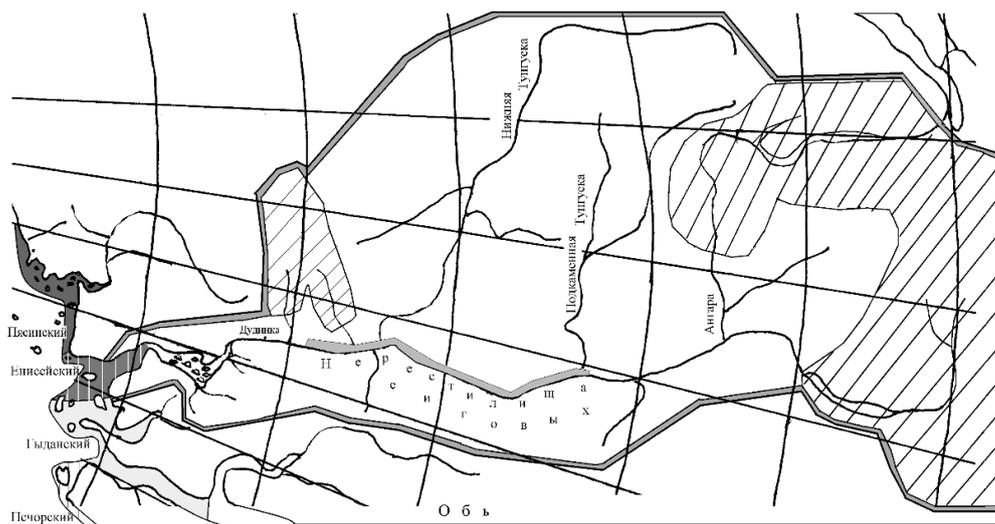


Рис. 1 – Схема бассейна Енисея с бассейнами возведенных водохранилищ (штриховка)

На правом берегу Енисея находятся в основном горные области. Левый берег, начиная со Среднего течения, в основном болотистый.

Береговые особенности территории бассейна определяют характер поступления тепла, аллохтонной органики и биогенных элементов. Кроме того, реки со спокойным течением обеспечивают значимые объемы поступления аллохтонных организмов. В то время как правобережные притоки носят охлаждающе – обедняющий характер.

Первые енисейские исследователи в структуре акватории Енисея в гидробиологическом плане выделили элементы (Грезе, 1957; Бахтин, 1961), различающиеся, как по свойствам экотопа, так и биоценоза – Верхнее течение, Среднее течение, Нижнее течение, Дельту, Губу (Горло в составе последней) – рис.1. Морские границы Енисея, как гидрографического (и отнюдь не экологического) объекта гидрографы проводят по створу п. Сопочная Карга.

В результате гидростроительства в период регулируемого стока протяженность Енисея сократилась на 1567 км. Площадь бассейна за счет выпадения 60 % бассейна Ангары (без Байкала), практически 90 % бассейна Верхнего течения, бассейнов рек Хантайки и Курейки составляет 53.3 % от исходной. Планируемое сооружение Богучанской и Эвенкийской ГЭС понизит исходную площадь бассейна до пугающе малых величин – 0.93 млн. км².

По протяженности Енисея с Юга на Север происходит падение уклона местности и соответствующее ему падение скорости воды и формирования, состав которых, представленный на рис.2, является важным показателем, используемым при детерминации границ ПБЕ. Общей закономерностью здесь является уменьшение доли твердых грунтов (камни, галька) от Верхнего Течения к Устьевой Области.

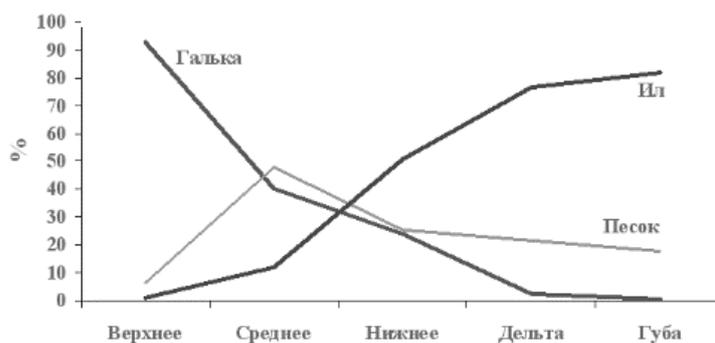


Рис. 2 – Распределение грунтов речного участка ПБЕ

Ее причины состоят в уменьшении уклона местности и как следствие, скорости течения воды. В зависимости от типа грунтов локализованы различные трофико – таксономические группы зообентоса, где основной тенденцией является переход от реофильного ценоза, локализованного в Верхней части Енисея, к пелофильному в Низовой Области и ихтиофауны (рис.7). Особенно сложной является картина распределения грунтов в Дельте и эстуарном районе ПБЕ – рис. 3.

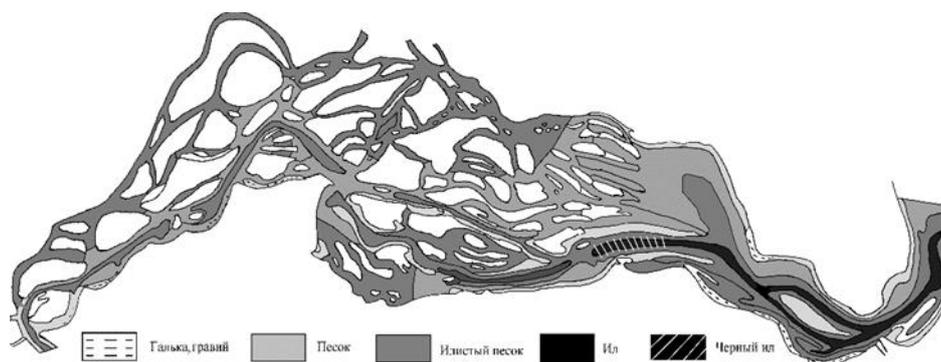


Рис.3 – Схема грунтов устьевой области Енисея

Анализ распределения глубинного ила показывает не только границы соответствующего зообентосного ценоза, но и верхние (зимние) границы маргинального фильтра, когда в эти области проникает соленая вода и происходят процессы агрегирования и седиментации минеральной и

органической субстанции, поступающей из выше расположенных участков акватории ПБЕ.

Кроме того, в фарватерной части губы по траверзу западной, морской границы дельты на глубинах свыше 20 м находится практически единственная обширная область закисных процессов с положительными величинами редокс – потенциала. Ее генезис обусловлен наличием придонного клина соленой морской воды бедной кислородом, который тратится на химическое и биологическое окисление.

Кроме градиентов скорости и грунтов на акватории Енисея существует также градиент солености воды. Данный показатель является принципиальным в детерминации, как морской границы ПБЕ, так и особенностей функционирования маргинального фильтра Енисея. Исторической основой, вызывающей необходимость изучения режима солености воды послужили ихтиологические и рыбопромысловые аспекты (Подлесный, 1948; Куклин, 1998) потребовавшие включения верхней (южной) части Енисейского залива (область маргинального фильтра – рис.6) в состав ПБЕ, которая является кормовым регионом для 7 из 8 видов полу - проходной ихтиофауны (рис.4).

Здесь стоит обратить внимание на факт проникновения горбуши за два года (1960 – 1963) из Белого моря в Устьевую Область Енисея, которая в конце 1990 – х гг. стала постоянно встречаться в уловах по всему Обско – Пясинскому мелководью (Куклин, 1999; Зуев и др, 2014).

Феноменологическим базисом, подтверждающим это, послужили гидрографические (Антонов, 1963) и океанологические исследования (Лисицын, 1995, 2004), согласно которым функциональные (биогидрохимические) границы Енисея следует проводить, по крайней мере, по концу устьевого бара, являющегося элементом маргинального фильтра Енисейского залива, в котором происходит интенсивная агрегация и последующая седиментация вещества за счет физико – химических процессов (рис.6), обусловленная микрофитобентосом (14) - ядром консорции ПБЕ – рис.5.

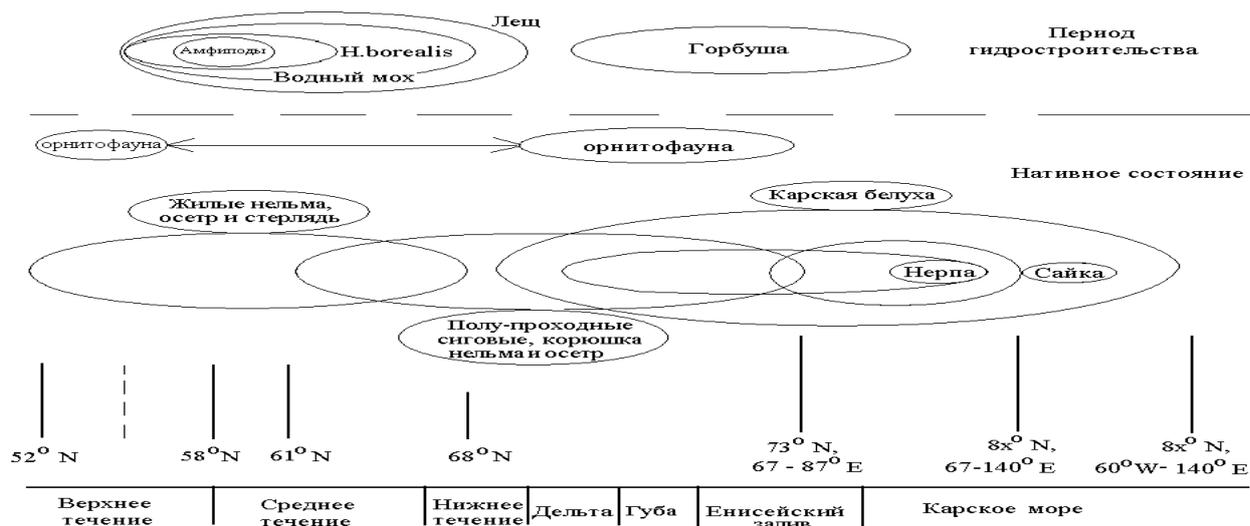


Рис.4 – Границы протяженности ареалов некоторых аборигенных видов и вселенцев на акватории Енисея

Т.о., продукционные показатели зоопланктона, зообентоса и ихтиофауны маргинального фильтра и предшествующих районов Губы Енисея находятся в прямой зависимости от продукции МФБ вышерасположенной акватории и МФБ является детерминантом консорции маргинального фильтра – рис.5.



Рис.5 – Структура пространственно – разобщенной консорции маргинального фильтра

Получив сведения о географо – гидрологических аспектах ПБЕ приступим к регламенту границ и построению концептуальной схемы, где на основании анализа сведений об особенностях распространения отдельных элементов биоценоза ПБЕ проведем детерминацию его границ.

Основная проблема здесь заключается в том, что для лотических водоемов, к которым несомненно относится Енисей, очень трудно провести нижнюю (здесь северную) границу. Положение дел заключается в том, что она должна иметь конкретную гидрографическую привязку. Для этого необходимо выбрать такой элемент биоценоза, который является достаточно привязанным к определенной акватории. В ПБЕ таким м.б. только население бентали, из которого, в соответствии со степенью изученности, выбирается

зообентос. В связи со значительными колебаниями уровня солености в эстуарном районе Енисея необходимо определить две границы: минимальную зимнюю, когда сокращается сток и морские воды заполняют акваторию Губы, и максимальную летнюю, когда пресные воды проникают далеко на север от границ дельты.

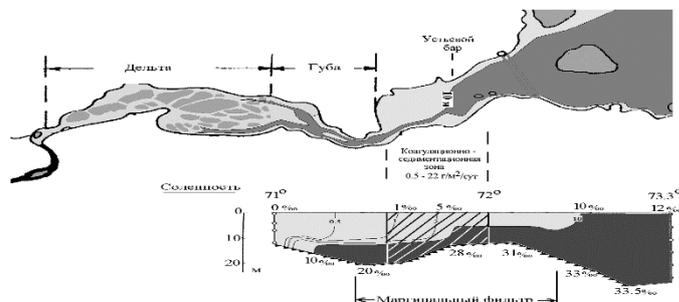


Рис.6 – Маргинальный фильтр Енисея (летнее состояние)

Минимальную границу достаточно точно можно определить по изобате проникновения соленых вод – это 5 – 7 м. Здесь доминанты солоноватоводного зообентоса изоподы вытесняются выше указанного уровня.

Детерминация летней границы более трудоемка – здесь необходимо сделать заключение для двух границ – профильной и плановой. Профильную границу определим по распространению зоопланктона и ихтиофауны. Плановую границу опять определим по уровню солености – летом, как известно в Енисейском заливе пресная вода распространена в среднем до изобаты 10 м. Объединение выше перечисленных границ показано на рис. 7.

Общей закономерностью экологической системы Енисея, как лотической системы, отличающей его от лимнических систем является различная пространственно – гидрографическая ориентация экосистемы (рис. 8), хотя в обоих случаях наблюдается реализацию одного и того же фактора – силы тяжести, проявляющегося как – бы во взаимно - перпендикулярных направлениях.

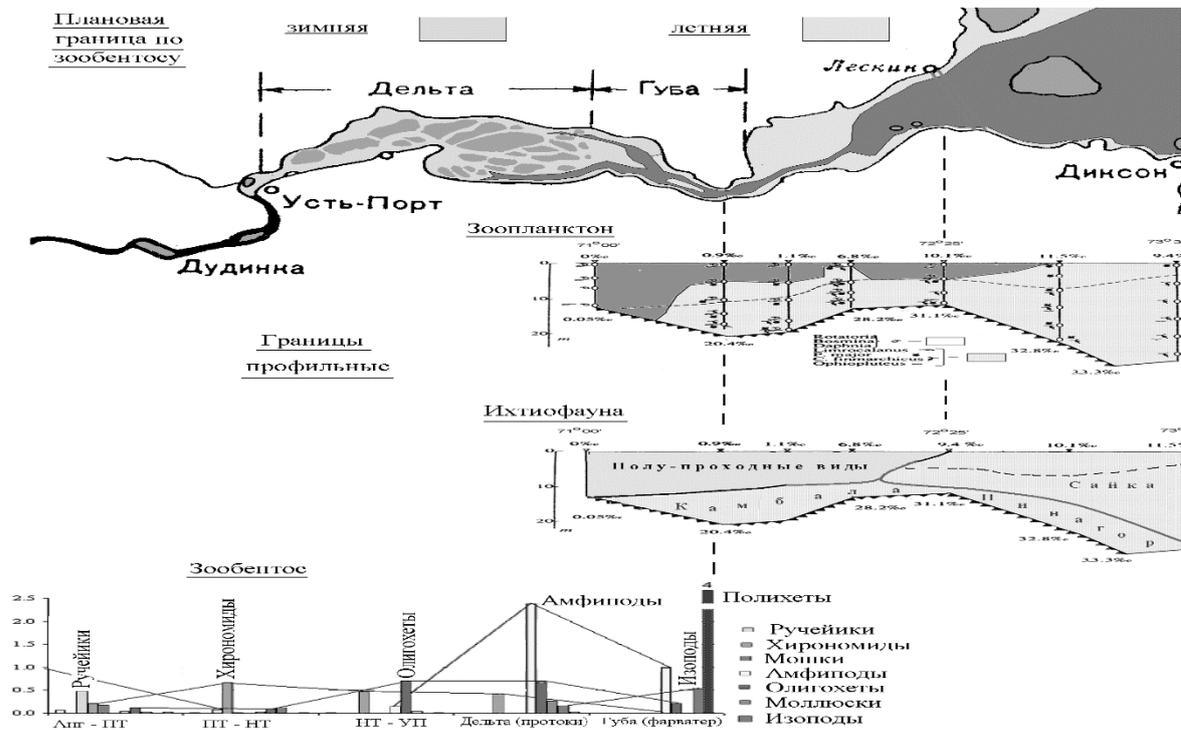


Рис. 7 – Нижняя граница биоценоза ПБЕ

Перейдем к анализу особенностей продукционно - деструкционной структуры Енисея. Действительно, классическая лимническая экосистема (море, озеро, водохранилище) имеет вертикальные горизонты или слои, простирающиеся реально на метры или десятки метров (океаны - на километры).

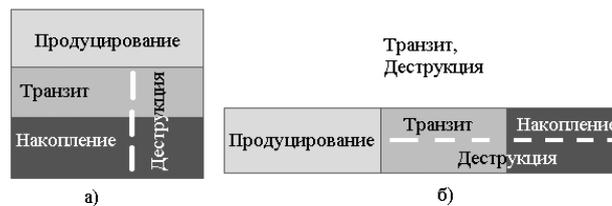


Рис. 8 – Продукционно - деструкционная структура лимнической (а) и лотической (б) экосистемы

Лотическая экосистема Енисея имеет уже не слои, а зоны или участки течения, занимающие сотни километров или географические градусы. Выделение зон или слоев происходит по принципу доминирования того или иного процесса и выше указанные три процесса происходят в каждой зоне или слое с гораздо меньшими интенсивностями. Синтезировав сведения, содержащиеся на рис.1 – рис.8, получим, что применительно к Енисею гидрографическая проекция рассматриваемой структуры выглядит

следующим образом – рис. 9.

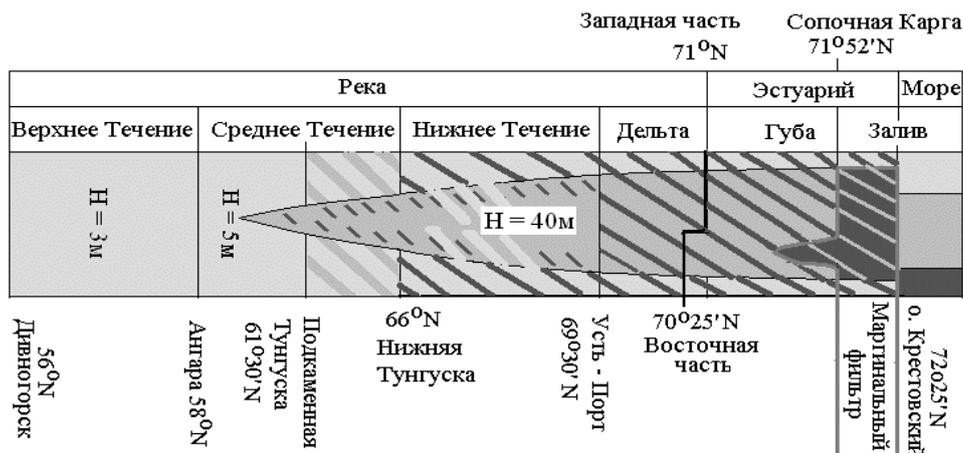


Рис. 9 – Продукционно - деструкционная структура Енисея

Формальным образом продукционно - деструкционной структуры Енисея (рис. 9) служит диссипативная структура – стационарное решение уравнения диффузии (1) - , представляющая собой классический объект системной экологии и используемая для описания следующего комплекса процессов «реакция – диффузия – конвекция» (Свиричев, 1987). Наглядным прообразом данной продукционно - деструкционной структуры является пламя газовой горелки. Реакция выражается в биологическом новообразовании вещества; диффузия – биологическое «разравнивание» вещества, как внутри экосистемы между глубинными горизонтами, так и между отдельными экосистемами; конвекция – механическая катадромия и противодействующие ей анадромные миграции. Здесь надо обратить внимание на тот факт, что коэффициенты диффузии $a(t,l,X)$ и конвекции $c(t,l,X)$ являются функциями, не только от расстояния и времени (l, t) , но и от активного обмена и биомассы популяций видов мигрантов X [2].

$$\partial X/\partial t = \partial(a(t,l,X)\partial X/\partial l)/\partial l - \partial(c(t,l,X)X)/\partial l + f(b(t,l),X), \quad (1)$$

Диффузия, обусловленная, как высокими скоростями воды (от 1.5 м/с в Верхнем Течении до 0.5 м/с в Нижнем Течении), олицетворяющие агента действия турбулентности, так и значительными глубинами – 40 м в районе п. Дудинки в Нижнем Течении – отвечающие за пространство и амплитуду действия, является причиной не столько высокой смертности многоклеточного зоопланктона, как на это указывал В.Н. Грезе, а главным

образом крайне низкой первичной продуктивности фитопланктона, когда последний функционирует в основном в деструктивной зоне, тратя накопленную в зоне фотосинтеза энергию. Причем, максимальные величины первичной продуктивности наблюдаются в Среднем Течении – рис. 10, где рис. 10.б, полученный независимым путем, является полным аналогом соответствующей иллюстрации из основополагающей работы В.В. Богатова (1995), доступной по сайту БПИ ДВО РАН.

Действительно, оценить время пребывания фитопланктона в фотической зоне можно с помощью феномена «Зона Ф 100» - условной зоны, где фотосинтез равен 100 % от возможного (рис. 10.а). Она в среднем соответствует глубине одной прозрачности. Далее, взяв отношение указанной зоны к глубине реки, получим ту долю первичной продукции, которая пойдет на увеличение биомассы фитопланктона. Причем эта величина является верхней оценкой – еще присутствуют процессы, выноса, выедания и отмирания.

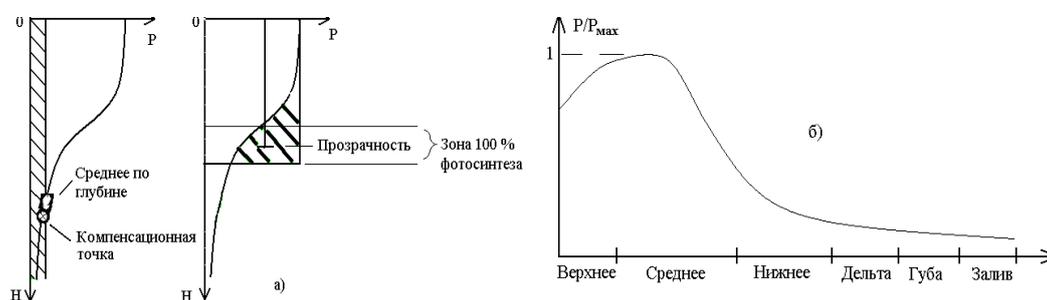


Рис. 10 – Зона 100 % фотосинтеза (а) и величины первичной продуктивности (б)

Итак, все выше приведенное замечания, как по продукционно - деструкционной структуре Енисея, и ее формальному образу является в определенной мере достаточным для описания континуума. Но, их, как это уже сказано выше, не хватает для адекватного описания функционирования в плане взаимодействия с внешним экосистемным окружением не только рассматриваемого в настоящем исследовании Енисея, но и для примера иллюстрации понятия реобиома, выбранного В.В. Богатовым – реки Амура – как здесь смотрятся нерестовые миграции тихоокеанских лососей ?

Поэтому перейдем к конкретизации понятия полибиома. В вышеизложенном тексте при использовании понятия полибиома каких –

либо иных объяснений, кроме того, что это определенное обобщение экосистемного континуума не дается. Но, рассмотренный далеко не полный список наиболее важных особенностей функционирования экологической системы Енисея позволяют конкретизировать термин «полибиом».

Первое, на куда надо обратить внимание, является феномен взаимодействия собственно речной системы с сопредельной акваторией, рассматривая ее как элемент более широкой системы «Суша – Река – Море» (рис.11). Причем это взаимодействие осуществляется не столько гидрологическими процессами, сколько путем миграции видов. Примером сему может служить кормовая миграция сайки из Баренцева моря, расположенного уже на другом континенте. Миграция карской белухи в устьевую область Енисея происходит уже через континент от берегов Северной Америки и Гренландии (Огнетов, 2005).

Полная экологическая система Енисея – это набор экосистем отдельных гидрографических участков его акватории, связанных, как между собой, так и с территорией бассейна с процессами поверхностного и подземного смыва, водообмена, пассивной и активной миграции организмов. Причем миграция происходит не только линейным (соседние экосистемы), но и, что главное, сетевым образом - через ряд экосистем (рис.12). Что ярко иллюстрируется анадромной миграцией ихтиофауны и нижеизложенными миграциями орнитофауны, где происходит, как перенос косной субстанции, так и биоразнообразия (*Heteroscore borealis*).

Наиболее наглядным образом полибиома является миграционное пространство орнитофауны, где птицы размножаются и нагуливаются в тундровой природной зоне (Ямало – Таймырский регион в нашем случае), а зимуют в Африке или южной Азии.



Рис.11 – Структура системы «суша – река – море»

В качестве экологической структуры Енисея не может быть использован даже экологический континуум – однородная структура, образованная цепочкой последовательно связанных потоками энергии экосистем (рис.12), которые легко м.б. выделены по скоростному и, как следствие, грунтовому градиенту – , в виду наличия нерестовых и нагульных миграций восьми видов полу – проходной ихтиофауны (рис.4), обитающих в низовьях и участвующих в функционировании верхнего и среднего Енисея, перенося органическое вещество и энергию в весьма удаленные друг от друга экосистемы указанных участков акватории Енисея даже через бассейны других рек (орнитофауна) - рис.12, рис.14.

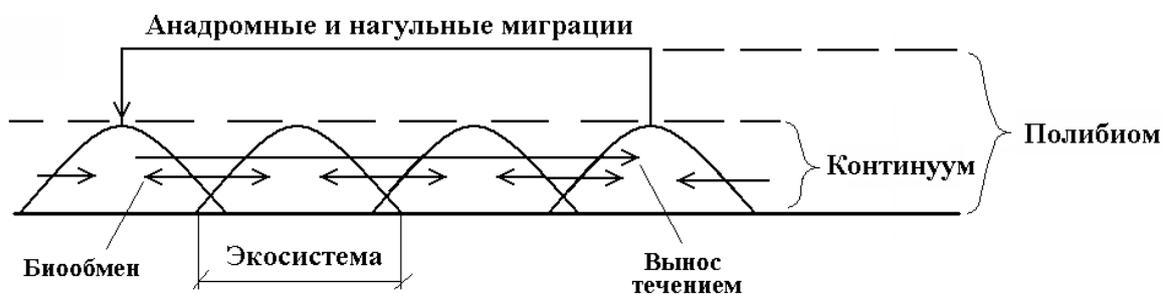


Рис.12 – Схема соотношения экосистемного континуума и полибиома

Кроме полупроходной ихтиофауны в пределах выделенных выше границ присутствуют с той или иной продолжительностью сугубо морские виды, как млекопитающих, так и ихтиофауны. Причем в промысловых объемах.

Интересным фактом, иллюстрирующим эволюционную сопряженность экологических процессов является тот факт, что нерестовые миграции полу – проходной ихтиофауны начинаются во время прихода карской белухи в Енисейский Залив.

Рассмотрим это более детально на рис. 1 показана локализация стад (\equiv *популяционных континуумов*) ледовитоморского омуля присутствующего в западной части Карского моря. За исключением Печерского омуля три остальные стада нерестятся на указанном участке нерестилищ. После нереста часть особей остается на зимовку в Енисее. Например, в устье Нижней Тунгуски (Остроумов, 1937). Поэтому легко можно представить на сколько

территорий бассейнов других рек, где нагуливаются стада омуля, увеличивается пространство взаимодействия популяций биоценоза Енисея, не говоря уже о морских акваториях, где обитают сайка, карская белуха и кольчатая нерпа. Кроме омуля в анадромной миграции участвуют еще осетр, нельма, корюшка, муксун, сиг, карская и туруханская ряпушки. Правда последние виды с достаточной степенью полноты укладываются в «енисейские» границы ПБЕ – рис.7 граница распресненного слоя.

Введенное ранее Таунсендом и далее развиваемое в России Богатовым понятие полибиома, как совокупности «различных форм жизни», которые в нашем случае можно, не только отождествить с оседлыми и мигрирующими видами, но и отметить феномен нарушения однородности экологического континуума – здесь уже появляется сетевая, гетерогенная, нелинейная структура реализуемая в виде потока субстанции через ряд соседних экосистем.

Перед детерминацией количественных аспектов функционирования ПБЕ необходимо в дополнении показанным выше гидрографическим аспектам рассмотреть и экологические последствия гидростойительства на Енисее.

Появление двух вдхр в Верхнем Течении Енисея коренным образом нарушившее характер миграции осетровых и гидротермику, вопреки ожиданиям возымело также и положительный аспект в виде стабилизации уровней в Нижних Бьефах и повышения прозрачности воды за счет аккумуляции терригенной субстанции в своих ложах. Что привело к радикальным изменениям в фитобентоценозе – здесь не только резко возросла продуктивность микрофитобентоса (в зоне Верхнего, Среднего Течения увеличилась в 1.5 – 2.5 раза - рис.13), но и появился новый элемент – водный мох, представляющий собой ясельное пространство для амфипод, биомасса которых в Нижнем Бьефе Красноярского вдхр на участке «Дивногорск – Лесосибирск» достигает на осеннем пике 100 г/м². Причем, амфиподы подобно морским ракообразным совершают анадромные

миграции вдоль берега на глубинах 0.2 – 07 м.

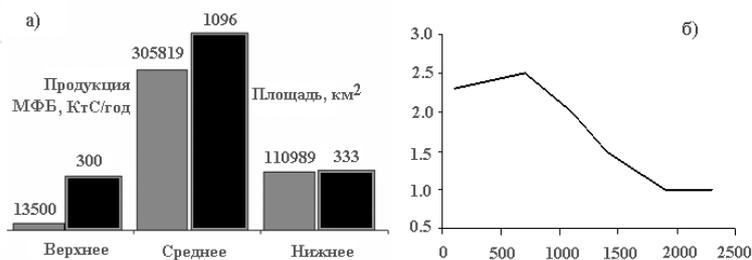


Рис. 13 – Распределение продукции МФБ (зеленый цвет) и площади твердых грунтов (серый цвет) (а) и соотношения продукции в период естественного и регулируемого стока (б) по участкам течения Енисея

Лещ, интродуцированный в Красноярское вдхр во время многочисленных сбросов воды проник в Нижний Бьеф и распространился в Енисее следующими темпами – 1997 г Среднее Течение, 2013 – Нижнее Течение. Причем, из рис.4 видно, что енисейский каскад вдхр является своеобразным источником или посредником распространения биоразнообразия – аналогом диссипативной структуры.

Что касается развития экосистем самих вдхр, то в продукционном отношении сопоставление их с экосистемами Нижних Бьефов равносильно сравнению пустынных барханов с оазисами в ней находящимися. Здесь основными причинами олиготрофности вдхр являются:

1. Низкая прозрачность (3 м), обусловленная поступлением минеральной взвеси из берегового коллювия;
2. Сработка уровня порядка 10 - 12 м, приводящая к ингибированию развития макрофитов (ясельное пространство) и микрофитобентоса;
3. Низкими биомассами фактически соответствующими уровню пороговых для зоопланктона (0.3 г/м³) и зообентоса (до 2 г/м², причем ниже уровня сработки). Причем, если зоопланктон получил возрастание биомассы на 2 порядка, зообентос практически остался на уровне речного Енисея. Амфиподы, не смотря на статус нектобентоса, не получили развития из-за отсутствия макрофитов и микрофитобентоса.

Кроме выше приведенных продукционных аспектов необходимо рассмотреть влияние водоплавающей орнитофауны (преимущественно

тундровый лебедь и гуси - гуменник). Положение дел заключается в том, что уже через два года после заполнения Красноярского вдхр в составе планктонного сообщества на вершине трофической сети появился типичный обитатель тундровой зоны крупный хищный рачок *Heteroscore borealis*, который в последствии распространился по крайней мере до середины Среднего Течения Енисея. Красноярскими гидробиологами был предложен ряд гипотез по путям проникновения его в Красноярское вдхр. Но, базовым механизмом реализации большинства из них является миграция водоплавающей орнитофауны.

На основании выше изложенных особенностей экотопа и биоценоза ПБЕ была построена схема основных потоков ПБЕ (рис.14). Как видно из представленных материалов энергетической основой продукционных процессов в Енисее является детритная (МФБ) (70 – 80 %) и квазипастбищная цепь (малоактивный ФП) (20 – 30 %).

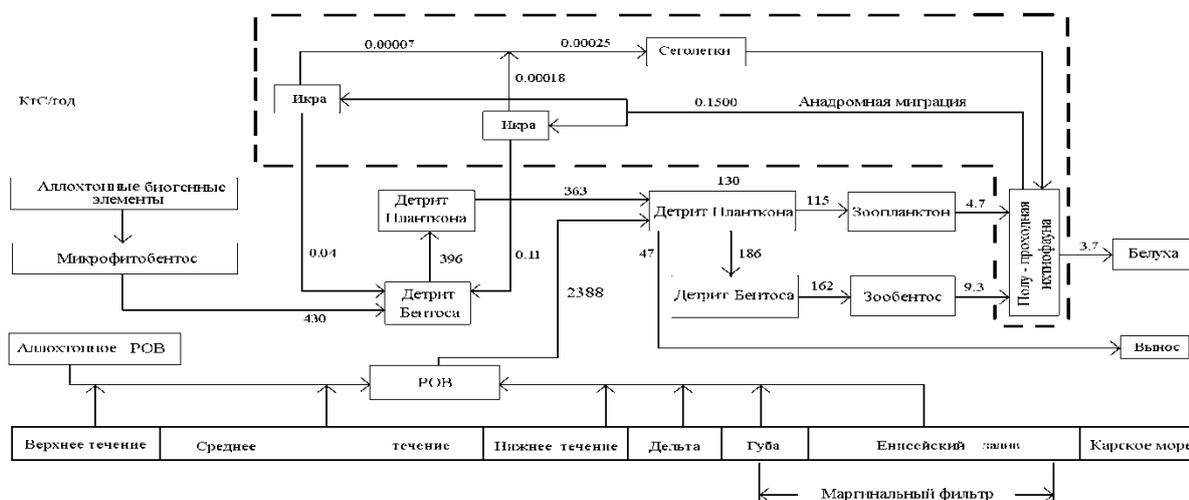


Рис.14 – Величины основных потоков ПБЕ (КтС/год)

Не смотря на том факт, что соотношение величин потоков «континуальной» (поступления продукции МФБ) и «полибиомной» (анадромная миграция) стадий имеет значение $3.5 \cdot 10^{-4}$, последние потоки несут большой вклад в функционирование ПБЕ. Действительно, как уже сказано выше, район максимальных значений первичной продукции и формирования автохтонного зоопланктона Енисея (рис. 10.б) и локализации верхних нерестилищ полу - проходной икhtiофауны Енисея (рис. 1) находятся

на одном участке Енисея – Среднем Течении - и ихтиофауна, заботясь о будущем благополучии своего пополнения, выполняет уже и системные функции, выражающиеся в снабжении придонного ЗП (Грезе, 1957) высоко – энергетической субстанцией.

Действительно, ихтиофауна возвращает в ПБЕ отнюдь не высококонденсированную органику – аналог бытовых полимеров – лигнин, смолы, воска, стойкие фракции водного гумуса, поступающие с территории бассейна и требующие значительных затрат энергии на расщепление, а биогены и легкоусваиваемые органические вещества, которые незамедлительно включаются в оборот.

Конечно, здесь можно привести контр - довод - нерест полу - проходной ихтиофауны Енисея происходит «под шугу» и степень вклада генеративных продуктов в увеличение первичной продукции проблематичен.

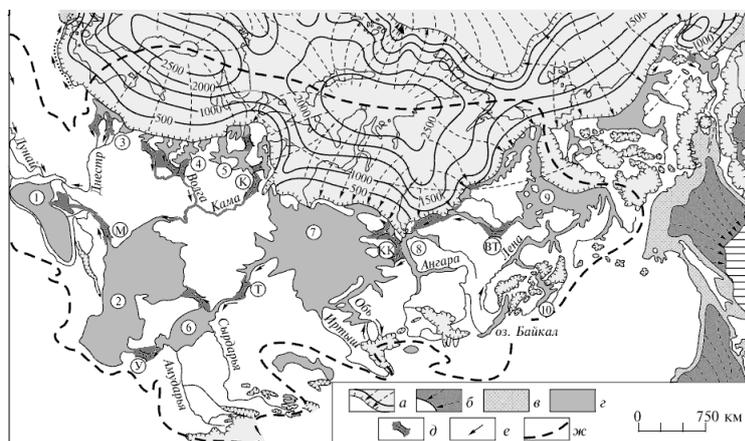
С этим можно согласиться только в плане водорастворимой фракции молок – она действительно через 10 – 15 суток окажется в маргинальном фильтре (рис. 7), однако далеко не в полном составе – значительная часть ее останется в курьях, Дельте и Губе Енисея.

А вот, что касается икры, то ее до выклева личинок ждет процесс продолжительного потребления хищниками и разложения микробными гетеротрофами, продукты деятельности которых при низких зимних температурах вернуться в круговорот реально по весне или ко времени функционирования ледового комплекса фитопланктона (включая криоперифитон) (Юрьев, 1989).

Это, что происходит на Енисее. На реке Амуре, когда проходной лосось нерестится в августе, когда еще температура воды сравнительно высока по всей толще, ситуация более стремительная и в годы большого нереста возникают грибковые эпидемии икры, увеличивающие выход биогенов осеннему пику и времени развития ледового комплекса фитопланктона, продукция которого на Амуре достигает 15 гС/м²/ледовый период или 20 – 25 % годовых величин (Юрьев, 1992).

Однако, на счет сопряженности района нерестилищ с районом максимальных значений первичной продукции только с позиций общебиомной выгоды внешне не все полностью однозначно – здесь м.б. и банальная «эволюционная память» ихтиофауны. Действительно, на рис. 15 показана геологическая ситуация в период 25 – 80 тыс.лет назад. В ПБЕ формально могли функционировать только Верхние Нерестилища (рис.1).

Но, стоит обратить внимание на тот факт, что Верхние Нерестилища функционируют только при высокой численности ихтиофауны. В годы низкой численности она «забывает свою историческую родину» и успешно нерестится на Нижних Нерестилищах, локализованных в районе Нижней Тунгуски. А высокая численность будет только в том случае, когда много пищи и здесь происходит взаимоусиление процессов.



Основные элементы трансконтинентальной системы стока талых вод во время (50 - 80) тлн и после (25 - 40) тлн Зырянского оледенения по [2].

a – ледниковые щиты с поверхностными линиями тока и горно-покровные комплексы; *б* – плавучие шельфовые ледники и их линии тока; *в* – осушенные континентальные шельфы; *г, д* – элементы системы стока от низовьев к верховьям: 1 – Новозвксинский (Черноморский) бассейн, 2 – Хвалынский (Каспийский) бассейн, 3 – Верхне-днепровские озера, 4 – Верхневолжские озера, 5 – Двинско-Печорские озера, 6 – Аральский (Тургайский) бассейн, 7 – Мансийское (Обское) озеро, 8 – Енисейское озеро, 9 – Ленско-Вилейское озеро, 10 – Витимское озеро; *д* – озерные протоки–спилвеи: М – Манычский, К – Кельтминский, Т – Тургайский, У – Узбойский, КК – Кас-Кетский (Енисей-Обский), ВТ – Вилейско-Тунгусский; *е* – течение талой воды в протоках; *ж* – граница бассейна системы стока.

Рис. 15 – Наличие подпорных водоемов во время последних оледенений

Литература

1. Богатов В.В. Комбинированная концепция функционирования речных экосистем // Вест. ДВО РАН. – 1995. – № 3. – С. 51-61.
2. Гайденок Н.Д., Баранов А.Н., Чмаркова Г.М. Моделирование экология и промысел длинноциклических видов ихтиофауны Енисея и Оби – Красноярск, 2014. – 540 с.

ВИДОВОЙ СОСТАВ И ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗООПЛАНКТОНА ОБСКОЙ ГУБЫ И ГЫДАНСКОЙ ГУБЫ

Ермолаева Н.И.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Новосибирск, Россия

e-mail: hope@iwep.nsc.ru

Аннотация. В 2015 г. проведено рекогносцировочное обследование Обской и Гыданской губы. Обнаружено 93 вида зоопланктона (42 Rotifera, 19 Cladocera, 32 Copepoda). Видовой состав зоопланктона Обской губы постепенно изменяется с продвижением с юга на север под влиянием физико-химических условий среды. Число видов зоопланктона после впадения реки Оби в Обскую губу возрастает, затем снижается по мере приближения к эстуарной зоне.

Ключевые слова: зоопланктон, Обская губа, Гыданская губа

SPECIFIC STRUCTURE AND SPATIAL DISTRIBUTION OF ZOOPLANKTON OF OB GULF AND GYDANSKY GULF

Yermolaeva N.I.

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Novosibirsk, Russia

e-mail: hope@iwep.nsc.ru

Abstract: In 2015 reconnoitering examination of the Ob and Gydansky gulfs's was conducted. All in all, 93 species of zooplankton (42 Rotifera, 19 Cladocera, 32 Copepoda) are revealed. The specific structure of zooplankton of Ob Gulf gradually changes with advance from the south to the north under the influence of physical and chemical conditions of the environment. The number of species of zooplankton increases after the Ob River confluence with Ob Gulf, then decreases as approaching an estuary firth.

Keywords: zooplankton, Ob Gulf, Gydansky Gulf

Обская губа является естественным продолжением р. Обь. На состав зооценозов Обской губы большое влияние оказывает р. Обь, ее гидрологический и гидрохимический режимы, планктонный сток. В общей схеме зоогеографического районирования солоноватых вод [11] она входит в обширную голарктическую солоноватоводную область, которая до сих пор слабо изучена в отношении фауны и экологии.

Эстуарная фронтальная зона Обской губы выявлена в ходе работ сотрудников Института океанологии им. Ширшова [7] по результатам комплексных исследований 2007-2013 года.

Эстуарные экосистемы относятся к динамическим неравновесным системам с постоянно меняющимися и часто непредсказуемыми абиотическими условиями. Организмы при этом обычно испытывают физиологический стресс, что отражается на видовом составе, обилии и структуре существующих здесь сообществ. В неустойчивой среде обитания формируется неустойчивое состояние структуры сообщества (квазиструктуры), где роль факторов среды в его организации повышается, а

сила межвидовых взаимодействий снижается. Однако для участка выше эстуарной зоны проще выявить, какие именно факторы или комплексы факторов определяют структуру сообществ, поскольку такие структуры более устойчивы во времени и пространстве.

В летнее время исследованный участок Обской губы является пресным и незначительно осолоняется только в зимний период. Летом в Обской губе температура воды выше температуры воздуха за счет теплового стока Оби. Период положительных температур воды длится с июня по октябрь. В июле – августе среднемесячная температура составляет 12,0–13,5 °С.

Известен небольшой ряд работ, характеризующих качественный состав зоопланктона Нижней Оби, Обской и Тазовской губ. Первые сведения о видовом составе зоопланктона нижнеобского бассейна приводятся Н.В. Воронковым [3]. Основные виды фауны ветвистоусых рачков в водоемах Нижней Оби описаны Г.Ю. Верещагиным [2]. Более полно видовой состав зоопланктона Нижней Оби был изучен В.С. Юхневой [12] по сборам 1964–1965 гг., а Обской и Тазовской губы — А.С. Лещинской [6] по сборам 1958–1959 гг. Последняя сводка видового состава гидрофауны Нижней Оби относится к концу 1970-х годов [5]. Наиболее полные данные приведены в работах Семеновой Л.А. и Алексюк В.А. [1, 8, 9, 10].

Целью данной работы является исследование современного состояния и сравнительный анализ зоопланктонного сообщества Обской губы и Гыданской губы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено рекогносцировочное обследование Обской и Гыданской губы с 22 по 27 июля 2015 г. выше зоны лавинной седиментации, расположенной в эстуарной зоне (рис.1)

Пробы зоопланктона отбирали путем процеживания 100 л воды через сеть Апштейна с диаметром ячеи 64 мкм. Фиксация и камеральная обработка зоопланктонных проб проводилась стандартными методами. Расчет

продукции проводился для каждой группы зоопланктона отдельно. Отобрана 31 проба зоопланктона.

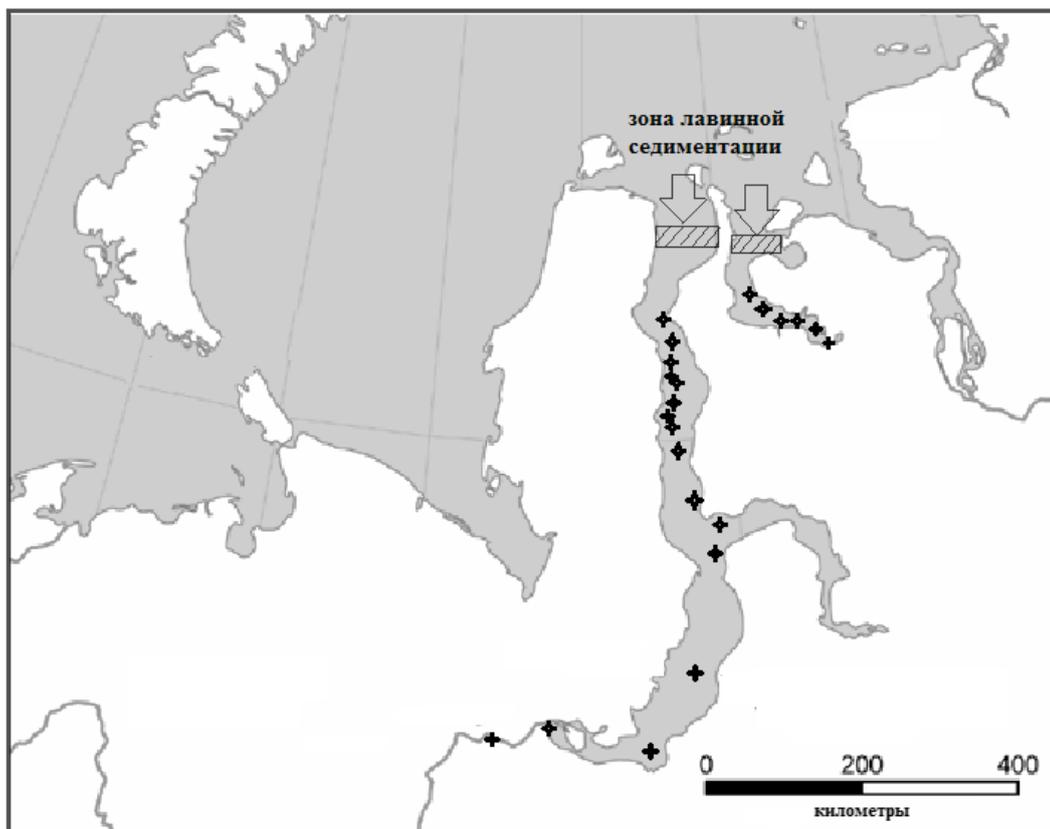


Рис. 1 – Область проведения исследований

РЕЗУЛЬТАТЫ

Обнаружено 93 вида зоопланктона (42 Rotifera, 19 Cladocera, 32 Copepoda) (табл. 1; рис. 2). В Обской и Тазовской губах ранее другими исследователями обнаружено 126 видов зоопланктеров: 39 видов коловраток, 39 видов ветвистоусых и 48 видов веслоногих ракообразных. Зоопланктон экологически весьма разнообразен. Среди обнаруженных видов зоопланктона большое количество типичных реофилов, большая группа лимнофилов, присутствовали зарослевые виды. Наибольшее число видов принадлежит к северному планктическому комплексу, встречаются типично арктические виды, но присутствовали и сравнительно теплолюбивые виды, а также многочисленна группа эврибионтов. Наряду с пресноводным зоопланктоном обнаружены и солоноватоводные формы. В северной части отмечен ранее не отмеченный другими исследователями реликтовый рачок *Limnocalanus grimaldii* (Guerne). Наибольшим разнообразием на всех

участках характеризуются коловратки от 33 до 58 % от общего числа видов. Ведущими родами по числу видов являются *Trichocerca*, *Brachionus*, *Polyarthra*, *Keratella*, *Notholca*.

Видовой состав зоопланктона Обской губы постепенно изменяется с продвижением с юга на север под влиянием физико-химических условий среды. Число видов зоопланктона после впадения реки Оби в Обскую губу возрастает, затем снижается по мере приближения к эстуарной зоне. Как правило, эстуарная зона характеризуется низким видовым разнообразием и высокой пятнистостью распределения гидробионтов за счет высокой variability множества факторов среды.

В Обской и Гыданской губе ведущими для зоопланктона являлся продольный градиент факторов среды. В первую очередь минерализации, поскольку изменения температуры были незначительными. Рост минерализации приводит сначала к обогащению видового состава, поскольку пресноводные виды еще не выпали из состава сообщества, а солоноватоводные уже встраиваются в структуру. Затем происходит обеднение видового богатства за счет выпадения пресноводных видов, что в целом характерно для участков водоемов и водотоков с градиентом минерализации [4].

Изменения видового состава зоопланктона в Обской губе и в Гыданской губе с юга на север схожи, хотя общий видовой состав заметно различается. Так, в Гыданской губе не отмечены *Ceriodaphnia quadrangula* (Müller), *Chydorus ovalis* Kurz, *Leptodora kindtii* (Focke), *Ilyocryptus acutifrons* Sars, *Bipalpus hudsoni* (Imhof) и др., широко распространенные по акватории Обской губы. Зато только в Гыданской губе отмечены *Limnocalanus grimaldii* (Guerne), *Senecella calanoides* Juday, *Arctodiaptomus acutilobatus* (Sars).

Численность зоопланктона в 2015 г. изменялась от 4600 до 255120 экз./м³, а биомасса от 9,47 до 668,47 мг/м³ (рис.3). Численно преобладали коловратки.

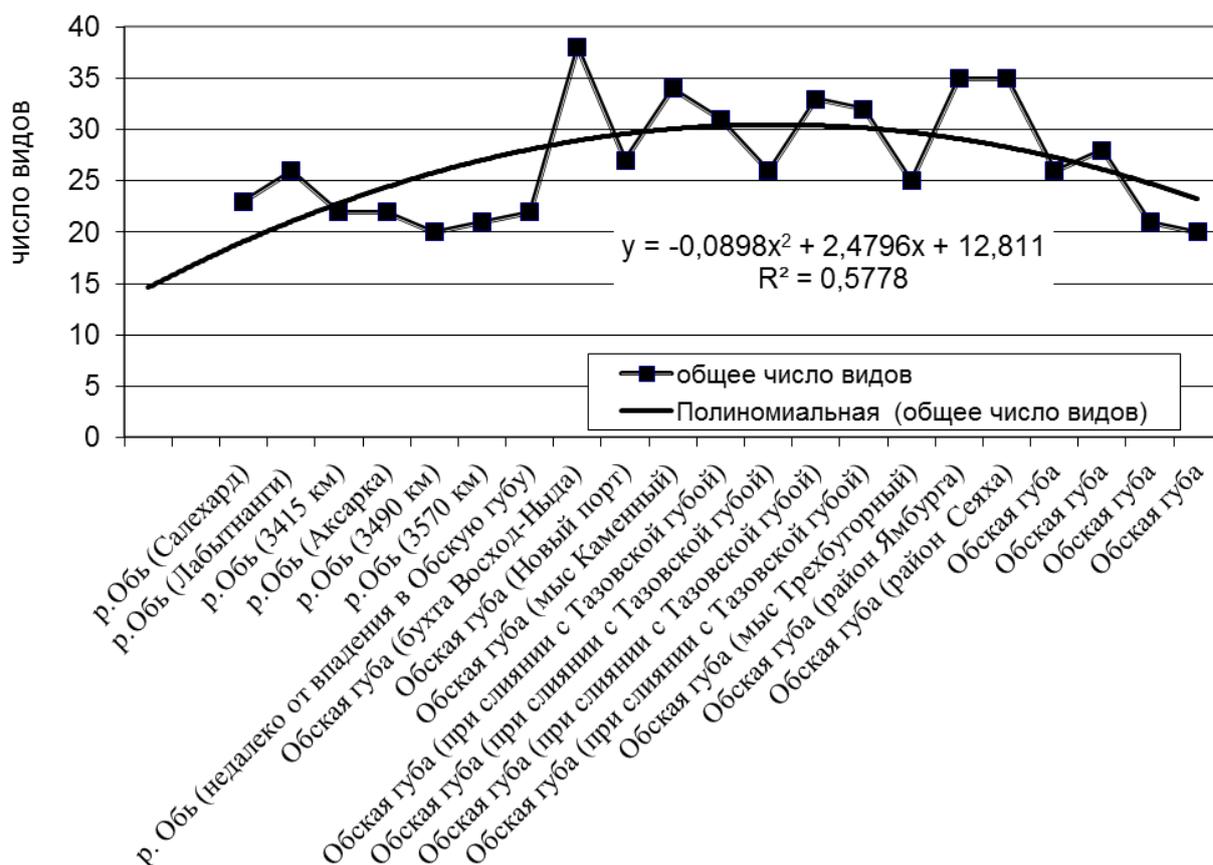


Рис. 2 – Число видов зоопланктона в нижней Оби и Обской губе в июле 2015 г.

Количественные характеристики зоопланктона значительно возрастают после впадения р. Оби в Обскую губу. Снижение наблюдается в зоне смешения вод Обской и Тазовской губы. Далее численность и биомасса зоопланктона растут вниз по течению. Из сообщества выпадают мелкие ветвистоусые рачки и ряд видов коловраток, при этом в сообществе растет роль крупных Calanoida. Так что даже при снижении численности продолжается прирост биомассы.

ВЫВОДЫ

В Обской и Гыданской губе для зоопланктона ведущим является продольный градиент факторов среды. В первую очередь минерализации.

Количественные изменения (обеднение) видового состава зоопланктона в Обской губе и в Гыданской губе с юга на север схожи, хотя общий видовой состав заметно различается.

Максимальная плотность зоопланктона при низком видовом разнообразии отмечается в эстуарной зоне. Мощные фронтальные скопления

зоопланктона образуют естественный биофильтр на пути выносимого стоком Оби вещества, зоопланктон активно выедает биомассу фитопланктона, ускоряя ее седиментацию предотвращая попадание больших масс пресноводного фитопланктона на шельф Карского моря. Таким образом, зоопланктон является своеобразным "биофильтром" на пути аллохтонных материалов и контролирует биосток автохтонного органического вещества.

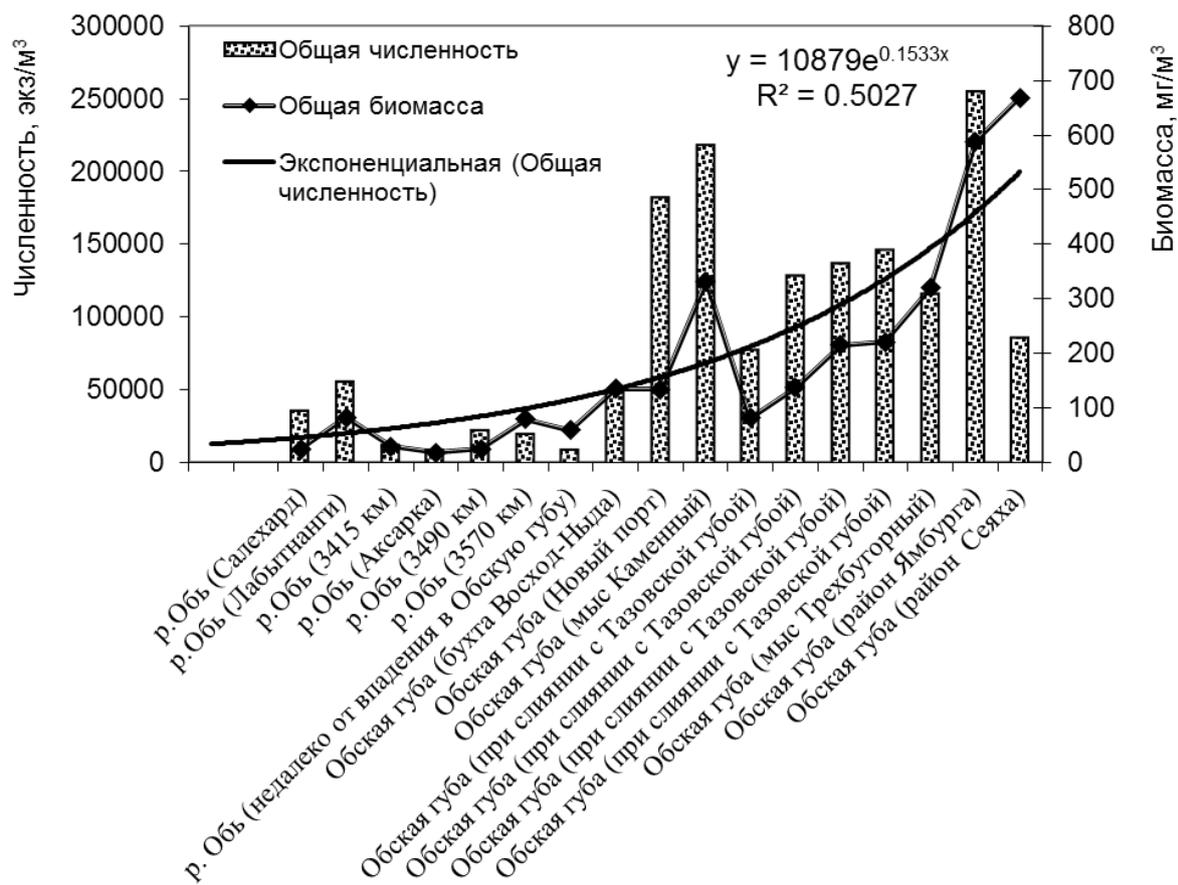


Рис. 3 – Численность и биомасса зоопланктона Нижней Оби и Обской губы в июле-августе 2015 г.

Таблица – Видовой состав зоопланктона нижнего течения р. Оби, Обской губы и Гыданской губы (август 2015 г.)

Точки отбора проб	р. Обь (ниже г. Нижневартовск)	Обская губа	Гыданская губа
1	2	3	4
Rotifera			
<i>Asplanchna herricki</i> Guerne	+	+	+
<i>Asplanchna priodonta</i> Gosse	+	+	-
<i>Bipalpus hudsoni</i> (Imhof)	+	+	+
<i>Brachionus angularis</i> Gosse	+	+	
<i>Brachionus calyciflorus calyciflorus</i> Pallas	+	+	+
<i>Brachionus calyciflorus dorcas</i> Gosse	-	+	+
<i>Brachionus quadridentatus quadridentatus</i> Hermann	-	+	
<i>Brachionus leydigi</i> var. <i>rotundus</i> (Rousselet)	-	+	+
<i>Cephalodella gibba gibba</i> (Ehrenb.)	+	+	
<i>Conochilus hippocrepis</i> (Schrank)	+	-	+
<i>Euchlanis deflexa deflexa</i> Gosse	+	+	+
<i>Euchlanis dilatata</i> Ehrenb.	-	+	-
<i>Filinia longiseta</i> (Ehrenb.)	+	+	+
<i>Filinia major</i> (Golditz)	+	+	+
<i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott)	+	+	+
<i>Keratella cochlearis</i> (Gosse)	+	+	+
<i>Keratella cochlearis tecta</i> (Gosse)	+	-	-
<i>Keratella quadrata dispersa</i> Carlin	+	+	+
<i>Keratella quadrata quadrata</i> (Müller)	+	+	-
<i>Keratella quadrata longispina</i> (Thiebaud)	+	-	-
<i>Keratella serrulata f. curvicornis</i> (Rylov)	+	-	-
<i>Keratella valga valga</i> (Ehrenb.)	-	+	+
<i>Notholca acuminata acuminata</i> (Ehrenb.)	+	+	-
<i>Notholca caudata</i> Carlin	+	+	+
<i>Notholca labis</i> Gosse	-	+	-
<i>Ploesoma triacantum</i> (Bergendal)	-	+	-
<i>Polyarthra dolichoptera</i> Idelson	+	+	+
<i>Polyarthra major</i> Burckhardt	+	+	+
<i>Polyarthra minor</i> (Rousselet)	+	+	+
<i>Polyarthra longiremis</i> Carlin	-	+	-
<i>Polyarthra vulgaris</i> Carlin	+	+	-
<i>Proales similis</i> Beauchamp	-	+	-
<i>Synchaeta grandis</i> Lack.	-	+	+
<i>Synchaeta pectinata</i> Ehrenb.	+	+	+
<i>Synchaeta stylata</i> Wierzejski	+	+	+
<i>Trichocerca cylindrica</i> (Imhof.)	+	+	-
<i>Trichocerca elongata</i> (Gosse)	+	+	+
<i>Trichocerca porcellus</i> (Gosse)	+	+	-

1	2	3	4
<i>Trichocerca rouseletti</i> (Voigt)	-	+	-
<i>Trichocerca similis</i> (Wierz.)	-	+	+
<i>Trichocerca tigris</i> (Müller)	+	+	-
<i>Trichocerca weberi</i> (Jennings)	-	+	-
количество видов Rotifera	29	38	22
Cladocera			
<i>Alonella excisa</i> (Fischer)	+	-	-
<i>Alonella quadrangularis</i> (O.F. Müller)	-	+	
<i>Bosmina (Eubosmina) coregoni</i> Baird	+	+	+
<i>Bosminopsis deitersi</i> Richard	-	+	
<i>Ceriodaphnia quadrangula</i> (O.F. Müller)	+	+	
<i>Chydorus ovalis</i> Kurz	+	+	
<i>Chydorus sphaericus</i> (O.F. Müller)	+	+	+
<i>Daphnia cristata</i> G.O. Sars	+	+	+
<i>Daphnia cucullata</i> G.O. Sars	-	+	
<i>Graptoleberis testudinaria</i> (Fischer)	+	-	
<i>Holopedium gibberum</i> (Zaddach)	+	-	+
<i>Ilyocryptus acutifrons</i> G.O. Sars	+	+	
<i>Iliocryptos sordidus</i> (Lievin)	-	-	+
<i>Leydigia leydigii</i> (Leydig)	+	-	
<i>Leptodora kindtii</i> (Focke)	-	+	
<i>Macrotrix hirsuticornis</i> Norman	+	-	
<i>Polyphemus pediculus</i> (Linne)	+	-	
<i>Rynchotalona rostrata</i> (Koch)	+	+	
<i>Sida crystallina</i> (O.F. Müller)	+	+	
количество видов Cladocera	14	12	5
Copepoda			
<i>Acanthocyclops gigas</i> (Claus)	-	+	+
<i>Acanthocyclops vernalis</i> (Fischer)	+	+	+
<i>Acanthocyclops viridis</i> (Sars)	-	+	+
<i>Acanthocyclops bicuspidatus</i> (Claus)	-	+	-
<i>Cyclops furcifer</i> Claus	-	+	+
<i>Cyclops kolensis</i> Lilljeborg	-	+	+
<i>Cyclops scutifer</i> Sars	+	+	+
<i>Cyclops strenuus</i> Fischer	-	+	+
<i>Cyclops vicinus</i> Uljan.	-	+	+
<i>Diacyclops bisetosus</i> (Rehberg)	-	+	-
<i>Macrocyclus albidus</i> (Jurine)	-	+	+
<i>Macrocyclus fuscus</i> (Jurine)	-	-	+
<i>Mesocyclops leuckarti</i> Claus	+	+	+
<i>Mesocyclops oithonoides</i> Sars	+	+	+
<i>Microcyclops varicans</i> (Sars).	-	+	+
<i>Acanthodiptomus denticornis</i> Wierz.	+	+	+
<i>Arctodiptomus bacillifer</i> (Koelbel)	-	+	+
<i>Arctodiptomus dentifer</i> (Smirnov)	-	+	-
<i>Arctodiptomus acutilobatus</i> (Sars)	-	-	+
<i>Eudiptomus coeruleus</i> (Fischer)	+	-	-
<i>Eudiptomus graciloides</i> Lilljeborg	+	+	+
<i>Eudiptomus gracilis</i> Sars	-	+	-

1	2	3	4
<i>Hemidiaptomus amblyodon</i> (Marenzeller)	-	+	+
<i>Mixodiaptomus theeli</i> (Lilljeborg)	-	+	-
<i>Neurodiaptomus pachypoditus</i> (Rylov)	-	+	-
<i>Eurytemora affinis</i> (Poppe)	-	+	-
<i>Eurytemora gracilis</i> (Sars)	-	+	+
<i>Eurytemora lacustris</i> (Poppe)	-	+	+
<i>Eurytemora velox</i> (Lilljeborg)	+	+	+
<i>Heterocope appendiculata</i> Sars	-	+	+
<i>Limnocalanus grimaldii</i> (Guerne)	-	-	+
<i>Senecella calanoides</i> Juday	-	-	+
количество видов Copepoda	8	27	24
количество видов всего	51	77	51

Литература

1. Алексюк В.А. Современное состояние зоопланктона Нижней Оби в пределах Ямало-Ненецкого автономного округа // Материалы III Всероссийской конференции «Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы». - Часть 1. (Борок, 11-16 октября 2008 г.). – Борок, 2008. – С. 211-213.
2. Верещагин Г.Ю. Планктон водоемов полуострова Ямал (Cladocera) // Ежегодник Зоол муз. Импер. Акад. Наук. – 1913. – Вып. 18. – С. 170-222.
3. Воронков Н.В., Планктон водоемов полуострова Ямал. Коловратки и общая характеристика планктона // Ежегодник Зоол муз. Импер. Акад. Наук. – 1911. – Вып. 16. – С. 180-214.
4. Ермолаева Н.И., Бурмистрова О.С. Влияние минерализации на зоопланктон озера Чаны // Сибирский экологический журнал. - 2005. - Т. 12. - № 2. - С. 235-247.
5. Крохалевская Н.Г., Алексюк В.А., Семенова Л.А. Видовой состав зоопланктона водоемов Нижней Оби // Рыбное хозяйство на водоемах Западной Сибири. Тр. ГосНИОРХ. - 1981. - Вып. 171 - С. 100-105.
6. Лещинская А. С. Зоопланктон и бентос Обской губы, как кормовая база для рыб // Тр. Салехардского стационара. УФАН СССР. - 1962. - Вып. 2. - 75 с.
7. Поярков С.Г., Флинт М.В. Комплексные исследования экосистемы Карского моря (128-й рейс научно-исследовательского судна "Профессор Штокман") // Океанология - 2015. - Т. 55. - № 4. - С. 723-726.
8. Семенова Л.А., Алексюк В.А. Планктон Обской губы // Человек и Север: антропология, археология, экология: материалы Всерос. конф. (Тюмень, 24-26 марта 2009 г.). - Тюмень, 2009. - Вып. 1. - С. 279-281.
9. Семенова Л.А., Алексюк В.А. Многолетние исследования зоопланктона нижней Оби (Ямало-Ненецкий автономный округ) // X Съезд Гидробиологического общества при РАН (Владивосток, 28 сент. - 2 окт. 2009 г.): тез. докл. - Владивосток, 2009. - С. 360-361
10. Семенова Л.А., Алексюк В.А. Зоопланктон Нижней Оби // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. – 2010. - № 10. – С. 156-169
11. Хлебович В.В. К биологической типологии эстуариев Советского Союза // Гидробиологические исследования эстуариев. (Тр. Зоол. ин-та АН СССР. Л.: ЗИН, 1986. – т. 141. – С. 5-16).
12. Юхнева В. С. Состав и распределение зоопланктона в Нижней Оби // Зоол. журн. – 1970. – Т. 49. – Вып. 5. – С. 660-664.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОЗЕРНОГО ФОНДА АЗИАТСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Измайлова А.В.

Институт озероведения РАН, Санкт-Петербург, Россия

e-mail: ianna64@mail.ru

Аннотация. В статье приводятся данные оценки озерного фонда АЧР, проведенной в ИНОЗ РАН в рамках работ по составлению монографии по озерам российской части Азии. Представлены данные по водным ресурсам озер, рассчитанным как по выделенным на основе генетического принципа озерным регионам, так и по находящимся здесь субъектам федерации. Анализируется степень лимнологической изученности АЧР и современное состояние расположенных в ее пределах озерных экосистем. Рассматриваются основные факторы, отражающиеся на озерном фонде различных частей азиатского региона.

Ключевые слова: озерный фонд, водные ресурсы, озерные экосистемы

CURRENT STATE OF THE LAKE FUND IN ASIAN PART OF RUSSIA

Izmailova A.V.

Institute of Limnology RAS, Saint-Petersburg, Russia

e-mail: ianna64@mail.ru

Annotation. The data of the assessment of the lake fund of the Asian part of Russia (APR), conducted at the Institute of Limnology, Russian Academy of Sciences, within the scope of work on the monograph on the lakes of the Russia are given in the article. Data on water resources of lakes, estimated for the lake regions selected on the basis of the genetic principle as well as for the subjects of the federation are represented. The limnological study of the APR and the current state of the lake ecosystems are analyzed. The main factors affecting the lake fund in various parts of the Asian region are considered.

Keywords: Lake Fund, water resources, lake ecosystems

В настоящее время в Институте озероведения РАН подготовлена к изданию монография «Озера азиатской части России» [2], посвященная проблемам изучения озер, их происхождению распределению по территории, особенностям функционирования озерных экосистем и их реакции на антропогенную нагрузку. Монография явилась обобщением накопленной к настоящему времени многоплановой лимнологической информации по озерам АЧР, в том числе за период наиболее активного антропогенного влияния на водные экосистемы. Ее изданию предшествовала оценка водного фонда азиатской части страны [1], выполненная для всей территории по единой, специально разработанной методике, базирующейся на детальном учете площадей водоемов, данные о которых были получены с современных спутниковых снимков, и дальнейшем определении объемов вод с учетом средних глубин. При определении суммарных величин водной поверхности была использована мозаика спутниковых снимков всей территории РФ за различные сезоны (исключая зимний) и за разные годы (от 2003 до 2015). Это

позволяет утверждать, что полученные площади водной поверхности применительно к какой-либо значимой по площади территории можно принимать за осредненные за начало XXI века.

В рамках работ был произведен полный учет всех водных объектов, площади которых превышали 1 км² (или 0.2 км² - при низкой озерности конкретного региона и значительном вкладе малых водоемов в общую величину его водных ресурсов). Морфометрия водоемов меньшей площади из-за их огромной численности оценивалась с помощью метода “выборочных квадратов”. Суть метода в том, что характеристики, полученные при детальной оценке площади водной поверхности в “выборочных квадратах” принимались в качестве репрезентативных аналогов и переносились на остальную часть исследуемой территории. При этом принималась гипотеза о нормальном распределении характеристик малых водоемов по территории. При переходе от площадей водной поверхности к объемам воды использовались данные по средним глубинам морфометрически изученных водоемов, тогда как для морфометрически неизученных производилось определение глубин на основе региональных зависимостей, характеризующих связь между различными морфометрическими параметрами озерных котловин [1].

Согласно данным проведенной оценки, в пределах АЧР дешифрируется ~1 170 000 озер площадью более 1 га и ~1 976 000 менее 1 га. Наряду с естественными в пределах АЧР дешифрируется более 6 000 водоемов искусственного происхождения (прудов, водохранилищ, карьеров, котлованов). Суммарная площадь водной поверхности естественных водоемов превышает 248 500 км², в том числе соленых ~16 000 км², искусственных водоемов ~24 110 км². Водные ресурсы озер составляют ~24 537 км³ воды, при этом на долю крупных приходится ~98%, более 52 км³ воды характеризуются повышенной минерализацией. Основная часть (~96%) пресной воды АЧР сконцентрирована в оз. Байкал. За его вычетом, в остальных озерах заключено лишь 922 км³ воды, что почти в 1.5 раза

меньше, чем в озерах ЕЧР. В то же время с учетом оз. Байкал, озерные водные ресурсы АЧР в 18 раз превышают ресурсы ЕЧР. В искусственных водоемах АЧР, благодаря огромной вместимости ряда расположенных здесь водохранилищ, запас вод составляет $\sim 638 \text{ км}^3$, что в 2.5 раза выше, чем в искусственных водоемах ЕЧР. Объем вод, заключенных в искусственные водоемы АЧР лишь в 1.6 раза уступает объему всех озерных вод российской Азии за вычетом оз. Байкал.

Проведенный анализ озерного фонда азиатской части России позволил прийти к следующим выводам. Несмотря на значительные запасы озерных вод и огромное число водоемов, средняя озерность азиатской части России составляет лишь около 2 % (то есть немногим превышает среднюю по планете Земля – 1.4%), при этом распределение озер по территории крайне неравномерно. Огромное их количество сосредоточено в равнинной части АЧР, тогда как основные объемы воды содержатся в озерах горных территорий. На равнинные и слабо возвышенные территории приходится менее 60% площади российской Азии, в их пределах насчитывается 94% от общего числа водоемов, при этом здесь сконцентрировано лишь $\sim 2\%$ от всех запасов озерных вод АЧР. Около 70% от общего числа водоемов находится на морских аккумулятивных, водно-ледниковых и озерно-аллювиальных равнинах прибрежной зоны морей Северного Ледовитого и Тихого океанов. Большинство этих водоемов обязано своим происхождением относительно недавним (в геологическом масштабе времени) морским трансгрессиям. Чаще всего они имеют небольшие площади, однако, есть и достаточно крупные. Глубина врезания в материк зоны максимального распространения озер определяется рельефом и ограничивается высотами в 50-100 метров. Общий объем вод, заключенных в озера прибрежных равнин из-за преимущественно небольших глубин большинства расположенных здесь водоемов немногим превышает 300 км^3 , что составляет лишь $\sim 1.2\%$ от всех запасов озерных вод АЧР или чуть менее $1/3$ вод озер российской Азии без учета объема оз. Байкал.

Обилием озер характеризуются также аккумулятивные, аккумулятивно-денудационные и озерно-аллювиальные равнины Западно-Сибирской низменности. История развития Западной Сибири в четвертичный период и особенности ее рельефа способствовали возникновению на ее территории огромного количества озер. Высокая озерность сохраняется не только в центральной части низменности, являющейся регионом избыточного увлажнения, но и на ее юге, характеризующемся по своим климатическим характеристикам как регион неустойчивого и недостаточного увлажнения. На центральную и южную части Западно-Сибирской низменности приходится более 13% площади азиатской части России, здесь расположено 20% от общего числа ее водоемов, однако благодаря их мелководности в них сконцентрировано лишь ~0.3% запасов озерных вод российской Азии (или менее 7% - без учета объема оз. Байкал). Значительная часть озер юга Западной Сибири в силу аридности климата являются высоко минерализованными.

В пределах горной части АЧР насчитывается ~6% от общего числа водоемов, однако здесь находятся наиболее крупные и глубокие озера российской Азии, характеризующиеся наибольшим водозапасом. В них сконцентрировано более 98% всех озерных вод АЧР, в том числе только в оз. Байкал (23 615 км³) - 96.2%. Наряду с крупными водоемами, в горах находится и огромное число средних и малых озер. В большинстве своем - это пресноводные водоемы, располагающиеся в широких долинах, цирках и карах у верхней границы леса или выше ее, рядом с ледниками и снежниками, часть водоемов разбросана на высокогорных плато. Значительное количество озер находится и в межгорных котловинах, часто характеризующихся недостаточной увлажненностью, при наличии стока они могут быть пресными, при отсутствии – солеными. Характерной чертой таких озер является значительное изменение их площади зеркала в зависимости от цикла увлажненности.

На рис.1 представлено распределение водных ресурсов озер АЧР по озерным регионам, выделенным в рамках работ над монографией «Озера

азиатской части России» на основе генетического принципа, предполагающего примерно одновозрастное происхождение большинства озерных котловин в пределах определенной территории. Для сравнения дается информация о площади этих регионов и количестве проживающего в их пределах населения.

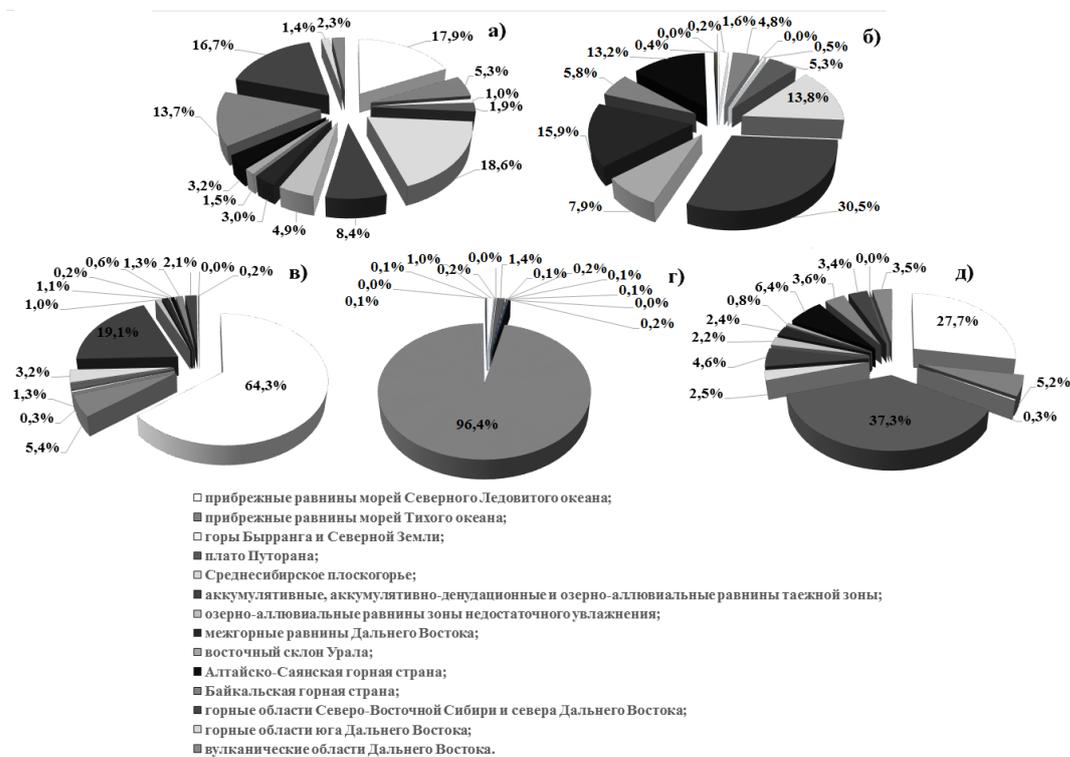


Рис. 1 - Доля озерных регионов в (а) – суммарной площади АЧР; (б) – населении АЧР; (в) – общем числе водоемов АЧР; (г) – общем объеме озерных вод АЧР; (д) – объеме озерных вод АЧР без учета оз. Байкал

Среди выделяемых в пределах Азии федеральных округов наибольшими водозапасами характеризуется Сибирский (24148 км³ в озерах и 488 км³ в искусственных водоемах). Этим он, прежде всего, обязан огромному объему озера Байкал, находящегося в границах Республики Бурятия и Иркутской области. Значительный объем вод сконцентрирован и в северной части Сибирского ФО - в озерах плато Путорана. Уральский ФО, в пределах которого находится более половины водоемов российской Азии, характеризуется относительно невысокими водозапасами (113 и 5.1 км³, соответственно). Для Дальневосточного ФО характерна значительная доля вод, содержащихся в искусственных водоемах (276 и 144 км³,

соответственно). На рис. 2 представлено распределение водных ресурсов озер АЧР по субъектам Федерации.

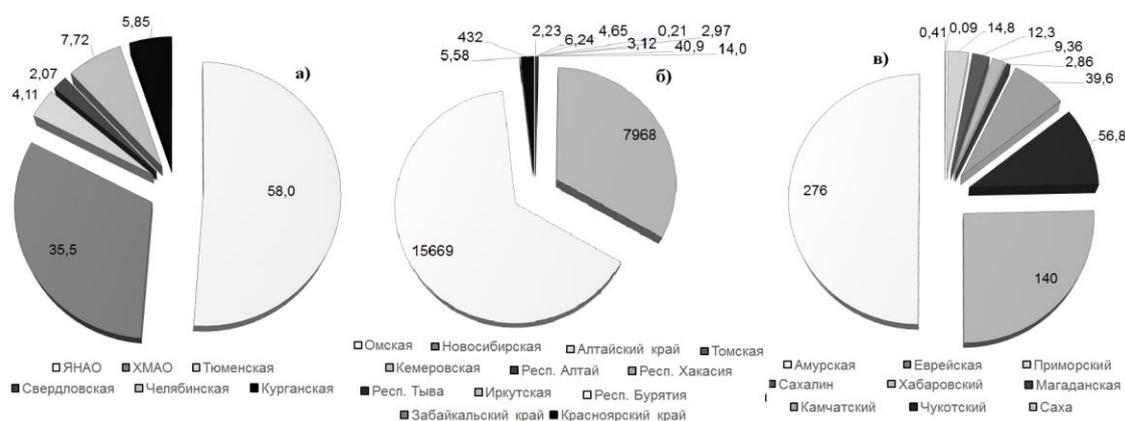


Рис. 2 – Распределение водных ресурсов озер АЧР по субъектам федерации внутри: а) – Уральского; б) – Сибирского; в) – Дальневосточного федеральных округов.

Особенностью развития России является сосредоточение основной части населения в европейской части страны, характеризующейся наиболее развитой экономикой, в то время как азиатская часть играет роль крупнейшей сырьевой зоны. Несмотря на ее превосходство по площади более чем в 3 раза, в силу более суровых природных условий здесь проживает лишь около 1/4 населения страны. Относительная низкая заселенность и слабая освоенность значительной части территории российской Азии сказываются на ее недостаточной лимнологической изученности. Необходимо отметить, что при высокой величине озерности северной части АЧР и возникающих здесь в последние десятилетия серьезных экологических проблемах, связанных с активной разработкой месторождений полезных ископаемых, данных по функционированию северных экосистем до настоящего времени крайне мало. Лишь на немногих озерах Арктики и Субарктики были проведены комплексные исследования, позволяющие рассмотреть все аспекты их лимнологической характеристики. В то же время на большинстве когда-либо изучаемых северных озер работы носили единичный характер и часто имели узкую направленность. Среди исследованных крупных северных водоемов - озера Таймыр, Эльгыгьдгын, ряд озер плато Путорана, оз. Лабынкыр и Ниджили.

Лимнологическая изученность озер южной части АЧР, а также Тихоокеанского побережья существенно выше. Уже с XIX в. были начаты комплексные наблюдения на оз. Байкал. Многолетние стационарные исследования ведутся также на оз. Чаны, Телецком и на водоемах Ивано-Арахлейской системы. Комплексные лимнологические исследования проводятся на озерах Ханка, Чукчагирское, Эворон, Болонь, Удыль, Торейских и Баунтовских озерах, озерах Еравно-Харгинской системы, озерах Гусином, Б. Токо, Котокель, Орон, Кенон, Убинском, Сартлан, Кулундинском, Кучукском, Б. Яровом, Ик, Салтаим, Тенис, Тандово, Беле, Торе-Холь, Азас, Шира, Б. Уват, на водоемах Ильменского заповедника и еще на ряде малых и средних водоемов Урала и юга Сибири. Высокой степенью лимнологической изученности характеризуется и ряд озер Камчатки и Сахалина.

Как показала наша работа над монографией «Озера азиатской части России», несмотря на тот факт, что степень лимнологической изученности озер АЧР пока невысокая и сильно различается по территории, накопленная к сегодняшнему дню информация, как собранная ИНОЗ РАН, так и опубликованная в научных изданиях, позволяет представить общую характеристику озер российской Азии и оценить изменения, происходящие с ее озерным фондом.

Многообразие природных факторов азиатской части России определяет широкое разнообразие расположенных в ее пределах озерных экосистем, от арктических водоемов, отличающихся пониженной минерализацией и обедненным составом гидробионтов, до ультракислых, практически лишенных жизни озер, заполняющих ряд вулканических конусов Камчатко-Курильского пояса, высокопродуктивных пресных озер южной части Дальнего Востока и высокоминерализованных озер зоны недостаточного увлажнения, биота которых состоит преимущественно из галофильных видов. Все они характеризуются своими особенностями и обладают разной степенью устойчивости к антропогенному воздействию.

Поскольку, в сравнении с европейской, азиатская часть страны стала осваиваться существенно позже, ее озера позже начали испытывать на себе антропогенный пресс. Снижение качества вод происходило здесь по мере наращивания промышленного потенциала страны, начавшегося в XIX в. и приобретшего особый размах в 30-е гг. XX в. Загрязнение промышленными стоками, прежде всего, происходило в регионах активного развития производства, привязанных к центрам добычи полезных ископаемых или крупным промышленно-городским агломерациям. Изначально оно затрагивало единичные водоемы, однако со временем за счет водного и атмосферного переноса распространялось на более широкие территории. Поскольку освоение богатейших ресурсов азиатской части страны начиналось с Урала, наиболее значимые изменения в связи с длительными нагрузками к сегодняшнему дню произошли в экосистемах озер, расположенных на его склонах.

Преобразование водоемов Среднего и Южного Урала, а также Зауралья, связанное с развитием промышленности, начало происходить уже в XIX в. К концу XIX – началу XX вв. здесь было зарегулировано значительное число озер, кроме того, в результате горной добычи возникли новые водоемы. Антропогенная нагрузка на озера значительно усилилась к 40-х годам XX в., когда был построен целый ряд промышленных гигантов (Магнитострой, Челябинский тракторный завод, Челябинский металлургический завод и др.). Активное развитие промышленности привело к еще большему зарегулированию речного стока, изъятию части водных ресурсов на различные нужды, а также к поступлению в водоемы большого числа загрязняющих веществ. В последние десятилетия промышленное загрязнение стало распространяться на Северный Урал и в полярные регионы.

В настоящее время важнейшими промышленными загрязнителями водоемов Урала являются предприятия добывающих отраслей промышленности, а также химии, металлургии, машиностроения и нефтепереработки. На многих озерах на протяжении последнего столетия

отмечается постепенный рост минерализации и изменение химического состава воды. Негативное влияние на водоемы оказывают сбросы теплых вод ГРЭС, еще больший эффект производит превращение водоемов в охладители реакторного производства. Воды многих озер Среднего и Южного Урала обогащены тяжелыми металлами, поступающими в них в результате аэрального переноса от источников, находящихся от них на значительных расстояниях. Среди всех регионов азиатской части России, Уральский, в силу его высокого экономического развития, на сегодняшний день характеризуется наиболее масштабными проблемами, наблюдающимися в озерных экосистемах. Для Среднего и Южного Урала, где сосредоточено основное производство и находятся важнейшие населенные центры, характерна ограниченность водных ресурсов, пресные воды озер имеют здесь существенное значение в водоснабжении ряда населенных пунктов, так что поддержание их должного экологического уровня является крайне важной задачей.

Огромное воздействие на водоемы азиатской части России оказало начавшееся с середины XX в. освоение нефтегазовых месторождений Западной Сибири и Дальнего Востока. Среди загрязняющих веществ, поступающих в водоемы в результате нефте- и газодобычи и наиболее негативно сказывающихся на их экологическом состоянии – тяжелые металлы и нефтяные углеводороды, отличительной особенностью которых является их высокая устойчивость к химическим и биохимическим воздействиям. Быстрое развитие нефтегазового комплекса Западной Сибири, начавшееся с середины 1960-х гг., происходило с отставанием строительства очистных и канализационных сооружений и сопровождалось многочисленными авариями и порывами нефтепроводов, в результате чего произошел сдвиг в солевом и биогенном режиме ряда водоемов, прежде всего - пойменных озер Среднего Приобья. Наряду с химическим загрязнением водоемов, на этапе строительства объектов нефтедобычи происходило зарегулирование поверхностного стока, приводящее к изменению уровня грунтовых и поверхностных вод. Озера, ставшие

объектами нефтедобычи, полностью утрачивали свой естественный режим, превращаясь в природно-антропогенные образования. Яркими примерами могут служить оз. Самотлор, Белое и Кымыл-Эмтор, акватории которых разделены песчаными насыпями на отдельные сектора под технологические объекты добычи и автодороги.

По мере последовательного продвижения разработок месторождений углеводородов на север, загрязнение затронуло и крайне низко населенные арктические территории. При этом озера северной части Западной Сибири характеризовались значительно меньшей устойчивостью к загрязнениям, и их реакция на воздействия проявлялась уже на этапе разведывательных работ. Несмотря на то, что загрязнение озерных вод севера Западной Сибири пока оценивается как умеренное, в перспективе можно ожидать значительное химическое и механическое загрязнения крайне чувствительных арктических экосистем с соответствующими последствиями для биоты, в том числе уникальной.

Нарушение экологической обстановки наблюдалось и по мере освоения прибрежных месторождений о-ва Сахалин. Наземные месторождения углеводородов разрабатываются на острове уже около 70 лет, в настоящее время в разработку вовлечено более 95% разведанных на суше запасов нефти, большинство эксплуатируемых месторождений находится на завершающей стадии разработки. В то же время постепенно начинается освоение шельфовых месторождений, разработка которых опасна, прежде всего, для рыбных запасов региона, а также для прибрежных водоемов, являющихся местом гнездования редкой орнитофауны.

Наряду с освоением нефтегазовых месторождений, значительное влияние на арктические регионы оказали горнодобывающая и металлообрабатывающая промышленность. Важнейшим источником загрязнения севера Восточной Сибири на протяжении многих лет является Норильский горнодобывающий и металлопроизводящий комбинат, начало строительства которого было положено еще в 1930-е гг., после открытия у подножия плато Путорана месторождения медно-никелевых руд. На

протяжении всего XX в. комбинат успешно развивался, наращивая свои мощности. К настоящему времени за счет его атмосферных выбросов вблизи Норильска оказалось выжжено около 100 тыс. га лесотундры, кислотные дожди, выпадающие в регионе, привели к закислению водоемов и другим негативным изменениям среды. Площадь, попадающая в зону закисления атмосферных осадков, покрывает все пространство к западу от оз. Таймыр до берегов Пясинского залива [4]. Среди крупнейших водоемов наиболее пострадавшим от деятельности «Норильского Никеля» оказалось оз. Пясино, которое благодаря ядовитым сточным водам, загрязняющим его уже не одно десятилетие, перешло к статусу дистрофных водоемов с обедненной фауной. Его вода оценивается как очень загрязненная и грязная, состояние экосистемы как кризисное, а в южном районе – критическое.

Существенные изменения, связанные с заселением и освоением северной части Сибири, произошли и на ряде водоемов центральной части Среднесибирского плоскогорья, а также горной части Северо-Восточной Сибири. Однако, благодаря низкой плотности населения, нагрузка на озерные водные ресурсы этих территорий пока остается локальной, привязанной к основным населенным пунктам и объектам промышленности. Наряду с химическим загрязнением вод и их эвтрофированием, важнейшим результатом освоения северных территорий явилось изменение термокарстовых процессов и термоэрозии, связанное с механическим и тепловым воздействием на широко распространенные здесь подземные льды, залегающие на различной глубине. Нарушение температурного и влажностного режимов грунтов приводит к изменению их состава, строения и свойств, что, в свою очередь, вызывает активизацию криогенных процессов. Результатом являются антропогенные изменения количества и площади арктических озер.

Южная часть российской Азии освоена значительно больше, чем арктические и субарктические регионы. Благодаря промышленному и сельскохозяйственному производству ее наиболее обжитые территории ощущают значительное давление на водные ресурсы. Основными

источниками загрязнения водоемов на юге Сибири являются предприятия по добыче полезных ископаемых, включая минеральные ресурсы озер, промышленные предприятия, предприятия нефтеперерабатывающего комплекса, стоки коммунального и сельского хозяйства. В силу широкого спектра отраслей промышленности, размещенных в промышленных центрах южной части Сибири, количество загрязняющих веществ, поступающих в водные объекты достаточно велико. Значительную опасность для расположенных здесь водоемов носит и биогенное загрязнение. В условиях недостаточного увлажнения негативное воздействие на озера оказывает водозабор, отражающийся на их уровневом режиме и приводящий к смещению водного баланса. На снижении уровня также сказываются проводимые на водосборах мелиоративные и другие работы. В этой связи, огромную опасность для озер юга Сибири представляют климатические изменения антропогенного характера, влияющие как на их водный, так и гидрохимический режим.

Значительное давление на водные ресурсы испытывают и обжитые районы юга Дальнего Востока. Наряду с химическим загрязнением, опасность для расположенных здесь озер носит биогенное загрязнение, связанное с активным использованием в сельском хозяйстве минеральных удобрений, а также с общим низким уровнем сельскохозяйственной практики. Развитие растениеводства порой требует усиленного водозабора, что сказывается на уровне водоемов. Так чрезмерный водозабор на обводнение рисовых полей негативно отражается на уровне такого крупного озера, как Ханка, особенно в маловодные годы, когда приток снижается, а потребности в воде повышаются. Из-за мелководности большинства водоемов равнинной части Дальнего Востока, изменения водного баланса быстро приводят к обострению накопившихся здесь экологических проблем.

Проблемой юга Дальнего Востока является заиление водоемов, связанное с поступлением в них с речным стоком большого объема рыхлого материала. Особенно большой принос взвешенных частиц происходит в годы повышенной водности. В пределах равнинной части юга Дальнего

Востока большинство озер находится в пойме р. Амур, с его водами они получают загрязнение не только от ближайших источников, но и удаленных на значительное расстояние, которые могут находиться как на территории Российской Федерации, так и соседних государств - Монголии, и Китая. Еще одной проблемой для озер южной части Дальнего Востока является чрезмерный, неконтролируемый лов рыбы, приводящий к сокращению численности ряда видов.

Анализ современного состояния озерного фонда, проведенный в рамках работ над монографиями по озерам России [2, 3], показал, что несмотря на комплекс экологических проблем, проявляющихся к настоящему времени на ряде водоемов АЧР, общий уровень загрязненности озерных вод здесь существенно ниже, чем в ЕЧР и ситуация с озерными ресурсами, в целом, более благоприятная. В то же время обращает на себя внимание, что, если на юге АЧР проблемами изучения и восстановления озер занимается целый ряд научных организаций, то вопросы оценки экологического состояния северных озерных экосистем разработаны крайне слабо. И это несмотря на тот факт, что Арктика постепенно превращается в район активного промышленного освоения. В силу особенно высокой чувствительности северных водоемов к антропогенным нагрузкам, существующие планы промышленного развития Арктики могут привести к катастрофическим последствиям для озер, оказавшихся в непосредственной близости к зонам освоения.

Литература

1. Измайлова А.В. Водные ресурсы озер Российской Федерации // География и природные ресурсы. – 2016. – № 4. – С. 5-14.
2. Румянцев В.А., Драбкова В.Г., Измайлова А.В. Озера азиатской части России. – С.-Пб.: Лема, 2017. – 500 с. [в печати]
3. Румянцев В.А., Драбкова В.Г., Измайлова А.В. Озера европейской части России. – С.-Пб.: Лема, 2015. – 392 с.
4. Сыроечковский Е.Е., Рогачева Э.В., Сыроечковский-мл. Е.Е., Куваев В.Б., Лаппо Е.Г., Романенко Ф.А., Хрулева О.А., Чернов Ю.И., Чупров В.Л., Чупрова И.Л. Большой Арктический заповедник // Заповедники Сибири. Т.2. – М.: Логата, 2000. – С. 56-81.

БИОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НА ЗАБОЛОЧЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ СИБИРИ И ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ БОЛОТНЫХ ВОД

Инишева Л.И.¹, Ларина Г.В.², Порохина Е.В.¹

¹ Томский государственный педагогический университет, г. Томск, Россия

² Алтайский государственный университет, г. Горно-Алтайск, Россия

e-mail: inisheva@mail.ru

Аннотация: Изучение биохимических процессов трансформации вещественных потоков в системе торф-вода и как конечный результат - химический состав болотных вод представляет большую перспективу в отношении общего геостока на Земле. Целью исследований было изучение микрофлоры болот Сибири и ее влияния на формирование химического состава болотных вод. Получено, что в болотах разного генезиса отмечается направленная активность микрофлоры с формированием болотных вод соответствующих вещественных потоков.

Ключевые слова: болотная экосистема, генезис, микрофлора, активность, гидрохимический состав.

BIOCHEMICAL PROCESSES IN WETLANDS OF SIBERIA AND HYDROCHEMICAL COMPOSITION OF SWAMP WATERS.

Inisheva Lydia I.¹, Larina Galina V.², Porokhina Ekaterina V.¹

¹ Tomsk State Pedagogical University, Tomsk, Russia

² Gorno-Altai State University, Gorno-Altai, Russia

e-mail: inisheva@mail.ru

Abstract: the study of biochemical processes of transformation of material flows in the peat-water system the chemical composition of swamp water is a great perspective for the total georunoff on the Earth. The aim of the research was to study the microflora of the wetlands of Siberia and its influence on the formation of chemical composition of swamp waters. It is found that the swamps of different genesis show the directed activity of microorganisms with the formation of the swamp waters of respective material flows.

Key words: wetland ecosystem, genesis, microflora, activity, hydrochemical composition.

Показатели функционирования болотных экосистем (БЭС), их динамика и тенденция развития определяются процессами образования, трансформации и миграции вещества. На них основываются механизмы устойчивости БЭС. Болотные экосистемы являются геохимическими барьерами, которые благодаря своей высокой сорбционной способности закрепляют большой спектр загрязняющих веществ из атмосферы, выводя их из круговорота веществ. Но с другой стороны, сложный химический состав самих торфов в торфяной залежи БЭС, их физико-коллоидная структура формируют собственный гидрохимический состав болотных вод. Атмосферные осадки, прежде чем попасть в подземные водоносные горизонты или образовать поверхностный сток, проходят стадию болотного генезиса. В органогенной среде торфяной залежи (ТЗ) они преобразуются в болотные воды. В итоге образуются пресные воды, обогащенные

углекислотой, метаном, растворенными органическими веществами, железом, марганцем и другими болотными компонентами. Так формируется особый вид болотных вод, состав и процессы взаимодействия в которых изучены недостаточно. Целью наших исследований было определение биологической активности в ТЗ разных по генезису торфяных болот на территории Сибири и выявление влияния биологической активности на формирование химического состава болотных вод.

Объекты и методы исследований. Многолетние исследования проводились на олиготрофной БЭС в южно-таежной подзоне Западной Сибири, относящейся по болотному районированию О.Л. Лисс и др. [5] к Западно-Сибирской таежной области бореально атлантических выпуклых олиготрофных моховых болот активного заболачивания; на эвтрофном болоте Таган, принадлежащем северо-барабинскому округу подтаежных эвтрофных осоково-гипновых болот, а также на мезотрофном и эвтрофном болотах Горного Алтая. Болота Алтая изучали на примере Северного Алтая, который характеризуется высотами над уровнем моря 300–450 м, осадками в пределах 800–1000 мм и коэффициентом увлажнения 1,3–1,4. На этой территории сосредоточены наибольшие площади болот. Только на этой территории, кроме эвтрофных болот, распространены мезотрофные болота.

Радиоуглеродное датирование торфяных залежей было проведено на радиоуглеродной установке QUANTULUS-1220 в лаборатории геологии и палеоклиматологии кайнозоя Института геологии и минералогии СО РАН (Новосибирск), ботанический состав и степень разложения торфа - по ГОСТ 28245-89. В период с мая по сентябрь на опорных пунктах болот проводились наблюдения за УБВ, окислительно-восстановительным потенциалом (ОВП) и температурой стационарно заложенными в ТЗ датчиками. Общую численность и биомассу микроорганизмов определяли прямым методом с использованием люминесцентной микроскопии. При количественном учете клеток почвенных бактерий и мицелия актиномицетов препараты окрашивали водным раствором акридина оранжевого, для окраски

мицелия и спор грибов применяли калькофлуор белый [1]. Болотная вода на анализ отбиралась в колодцах после откачки и наполнения свежей порцией. Макрокомпоненты в водах определяются по общепринятым методикам, гуминовые и фульвокислоты – по [8]. Все лабораторные исследования проводились в Испытательной лаборатории ТГПУ (№ РОСС RU.0001.516054).

Обсуждение результатов. Все процессы взаимодействия водных масс с продуктами жизнедеятельности биогеоценозов в какой-то мере следует рассматривать как особую региональную термодинамическую систему (солнечно-бассейновая единица по [4], в которой главенствующая регулирующая роль принадлежит живому веществу. Кроме того, болота верхового типа являются элювиально геохимически автономными, что позволяет проследить миграционный поток веществ в балансовом варианте. Гидрохимический состав болотных вод определяется окислительно-восстановительными (ОВ) условиями в ТЗ. В свою очередь, ОВ состояние в ТЗ определяется не только активностью окислительных и восстановительных обратимых систем (например, Fe^{3+} , Fe^{2+} , Mn^{4+} , Mn^{2+} и др.), но и кинетическими константами необратимых окислительно-восстановительных реакций (например, NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+). К этому следует добавить сложный комплекс химических реакций, включающих процессы синтеза и ресинтеза органических веществ в торфяной залежи, происходящих в виде физико-химических, а также микробоэнзимологических превращений. Исследования бактериальных сообществ были проведены в БЭС разного генезиса люминесцентно-микроскопическим методом, который позволяет выявить как активный компонент микромицетного комплекса – мицелий, так и неактивный компонент – споры (Табл. 1). Бактерии в олиготрофной и мезотрофной БЭС снижаются с глубиной. Однако в южно-таежной подзоне по средним показателям количество бактерий на глубине 200 -250 см уменьшилось в 2,7 раза, а в мезотрофной БЭС это снижение составило в 1,8 раза. Аналогичная закономерность отмечается и по плотности грибных спор:

уменьшение по глубине для олиготрофной БЭС было в 4,9 раза, для мезотрофной-1,7. Рассмотрим эти значения для эвтрофных болот Западной Сибири и Горного Алтая. Эти соотношения представлены значениями 3,5 и 2,8 раза – по количеству бактерий и 3,8 и 3,2 – по плотности грибных спор. То есть закономерность повторилась. Более высокая активность микрофлоры проявляется в верхнем слое 0-50см независимо от территории.

Таблица 1 – Экстремальные и средние показатели активности микробной биомассы за вегетационный период 2013 г.

Глубина, см	Бактерии, млрд/г	Мицелий		Споры грибов, млн/г
		актиномицетный, м/г	грибной, м/г	
<u>Олиготрофная БЭС, южно-таежная подзона Западной Сибири</u>				
0-50	<u>41,6-59,3</u>	<u>188,9-500,8</u>	<u>31,8-41,6</u>	<u>33,6-64,3</u>
	51,9±7,8	393,1±17,8	37,3±2,5	54,0±5,7
100-150	<u>20,6-54,3</u>	<u>243,6-369,4</u>	<u>8,9-21,0</u>	<u>24,8-51,3</u>
	39,0±6,6	204,0±15,0	13,3±1,8	39,9±7,8
200-250	<u>3,8-44,1</u>	<u>44,1-109,5</u>	<u>0-5,7</u>	<u>8,4-12,9</u>
	19,1±3,5	68,3±3,7	2,3±0,9	11,3±1,8
<u>Эвтрофная БЭС, южно-таежная подзона Западной Сибири</u>				
0-50	<u>30,1-68,9</u>	<u>102,5-214,5</u>	<u>2,4-18,6</u>	<u>21,6-35,4</u>
	53,4±7	172,8±16,8	10,1±2,3	27,6±2
100-150	<u>15-51,8</u>	<u>93,0-131,4</u>	<u>0-4,0</u>	<u>10,8-21,8</u>
	36,8±11,1	107,5±12	1,3±1,3	17,1±3,3
200-250	<u>3,4-40,1</u>	<u>0-42,0</u>	0	<u>4,0-9,7</u>
	15,6±5,7	13,9±6,5		7,2±1,1
<u>Мезотрофная БЭС, Горный Алтай</u>				
0-50	<u>33,4-40,1</u>	<u>209,5-309,5</u>	<u>26,1-66,8</u>	<u>28,3-44,2</u>
	36,0±1,1	260,7±15,2	45,4±5,8	36,3±2,5
100-150	<u>28,4-33</u>	<u>146,8-206,3</u>	<u>0-9,3</u>	<u>20,6-36,9</u>
	30,6±1,3	183,9±18,7	4,0±2,8	28,1±4,8
200-250	<u>14,2-24,1</u>	<u>86,1-189,2</u>	0	<u>11,3-30,5</u>
	20,1±1,4	131,2±16,7		21,9±2,8
<u>Эвтрофная БЭС, Горный Алтай</u>				
0-50	<u>20,4-29,5</u>	<u>133,9-170,3</u>	<u>5,1-11,3</u>	<u>36,8-44,6</u>
	23,8±1,3	154,5±5,5	7,7±1,0	39,8±1,2
100-150	-	-	-	-
200-250	<u>5,9-11,0</u>	<u>19,8-30,4</u>	0	<u>6,9-15,0</u>
	8,4±1,5	24±3,2		12,1±2,6

Примечание: ± доверительный интервал, «-» не определяли.

Активный компонент микромицетного комплекса – грибной мицелий приурочен к верхним слоям, так как грибы строго аэробные организмы и только немногие виды могут развиваться на больших глубинах. Вместе с тем, и на глубине 200-250 см в олиготрофной БЭС грибной мицелий

присутствует, но его активность по средним показателям в 18 раз меньше по сравнению с активностью в поверхностном слое. В остальных БЭС грибной мицелий отсутствует. Такая же закономерность прослеживается и в распределении актиномицетного мицелия в торфяном профиле. Однако на глубине 200-250 см во всех БЭС присутствует актиномицетный мицелий. Многие авторы объясняют разными причинами активность микрофлоры в глубоких слоях, в том числе и проникновением в глубину ТЗ мигрирующих вод, насыщенных кислородом [2]. Но процесс миграции вод в ТЗ довольно длительный (10-20 лет), а изменение активных компонентов микромицетного комплекса можно наблюдать и в течение вегетационного периода.

Так, например, длина актиномицетного мицелия имеет наибольшие значения в верхней 0-50 см части ТЗ, но и на глубине 3 м его активность остается достаточно высокой, причем практически на протяжении всего вегетационного периода. Здесь активность актиномицетного мицелия связана с их гидролитической активностью и участием в процессе минерализации органического вещества. Надо полагать, ТЗ в своем составе практически всегда имеют газовую фазу, содержащую кроме углеродных парниковых газов (CO_2 , CH_4), также свободный кислород. Например, известно, что содержание кислорода в ТЗ может изменяться от 65–80 до 100–150 г/м³, или 5–11 % по объему [7]. Вместе с тем прослеживается и такая закономерность: в придонных слоях активность отдельной микрофлоры выше в нижних слоях в БЭС Северного Алтая (например, актиномицетный мицелий и споры грибов).

Рассмотрим влияние биологической активности на формирование химического состава болотных вод (Табл.2). Активность микрофлоры прежде всего направлена на преобразование органического вещества в ТЗ. Роль микроорганизмов в разрушении сложных органических соединений торфа обусловлена особенностями их метаболизма. В микробную клетку могут поступать только относительно простые органические соединения. Именно поэтому микробы разлагают высокомолекулярные соединения торфов вне

клетки до уровня простых сахаров, аминокислот, жирных кислот и т. д. Как и в самих торфах в воде преобладают ФК с большим содержанием в БЭС олиготрофного типа, что также подтверждается ХПК (данные южно-таежной подзоны). Известно, что из гумусовых кислот наиболее растворимы ФК, что связано с более высоким вкладом в их структуру карбоксильных групп и фенольных оксигрупп, а также меньшей молекулярной массой мономеров и ассоциатов ФК. Поэтому содержание ФК в болотных водах превышает содержание ГК.

Таблица 2 – Содержание отдельных компонентов в болотных водах, мг/л.

Fe _{общ.}	Fe ³⁺	Fe ²⁺	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	ХПК	ГК	ФК
Олиготрофная БЭС, южно-таежная подзона Западной Сибири							
<u>3,1-18,4</u> 9,3±4,6	<u>0,4-2,4</u> 1,2±0,6	<u>2,9-16,0</u> 8,2±4,0	<u>19,1-68,3</u> 42,5±14,3	-	<u>68,2-113,7</u> 96,2±14,2	<u>4,2-14,7</u> 8,6±3,1	<u>22,7-56,8</u> 37,0±10,2
Эвтрофная БЭС, южно-таежная подзона Западной Сибири							
<u>4,7-13,2</u> 8,8±2,5	<u>1,2-3,4</u> 2,4±0,6	<u>3,5-10,6</u> 6,4±2,2	<u>16-22,7</u> 19,6±2	<u>0,1-3,5</u> 1,6±0,1	<u>29,4-63,0</u> 48,8±10	<u>4,3-15,2</u> 9,5±3,2	<u>19,6-28,1</u> 23,5±2,5
Мезотрофная, Горный Алтай							
<u>3,6-4,2</u> 3,9±0,2	<u>0,4-1,0</u> 0,7±0,2	<u>2,8-3,6</u> 3,2±0,2	<u>0,9-1,4</u> 1,2±0,1	<u>3,6-4,2</u> 3,9±0,2	-	<u>14,2-21,4</u> 17,4±2,1	<u>24,6-42,7</u> 33,7±5,2
Эвтрофная, Горный Алтай							
<u>2,4-2,8</u> 2,6±0,1	<u>0,3-1,2</u> 0,6±0,3	<u>1,6-2,2</u> 2,0±0,2	<u>0,8-2,3</u> 1,5±0,4	<u>4,2-6,8</u> 5,9±0,9	-	<u>15,3-24,8</u> 19,3±2,8	<u>18,0-37,0</u> 26,1±5,7

Примечание. ± доверительный интервал, «-» не определяли.

Экстремальные значения содержания ФК шире в олиготрофной БЭС южно-таежной подзоны по сравнению с БЭС Горного Алтая 22,7-56,8 мг/л. В эвтрофных БЭС содержание ФК по средним показателям меньше по сравнению с БЭС олиготрофного типа в 1,6 и 1,2 раза соответственно для территории южно-таежной подзоны и Горного Алтая.

Относительно ГК отмечается иная закономерность. Гуминовых кислот в экстремальных пределах больше содержится в эвтрофных БЭС и практически в одинаковых пропорциях на обеих территориях. По средним значениям содержание ГК в большей концентрации отмечается в болотных водах Горного Алтая (в 2 раза по обоим типам БЭС).

Из катионов остановимся на анализе поведения железа в окисленной и восстановленной формах в болотных водах разного генезиса и территорий.

Авторами в разное время было показано, что в инактивации катионов преимущественно участвуют тонкодисперсные частицы, полоторные оксиды, карбонаты и гуминовые вещества. Последние участвуют в поглощении элементов особенно активно. Так Х. Кендорфом и М. Щнитцером (1980, цитир. по Иванову В.В. [3]) построены ряды активности захвата металлов гуминовыми кислотами в зависимости от рН среды:

а) рН = 2.4 - Hg>Fe>Pb>Cu=A1>Ni>Cr=Zn=Cd=Co=Mn;

б) рН = 3.7 – Fe> A1> Pb> Cu>Cr>Cd=Zn= Ni> Co= Mn.

Именно такие значения рН характерны для ТЗ олиготрофных и мезотрофных БЭС. В большей концентрации общее железо содержится в болотных водах южно-таежной подзоны Западной Сибири, что характерно для этой зоны с геохимических позиций (в 2,3 и 3,3 раза больше по средним значениям по сравнению с мезотрофной и эвтрофной БЭС Горного Алтая). В содержании железа преобладают его восстановленная форма - Fe²⁺.

Представляет интерес рассмотреть также содержание ионов аммония и нитратов в болотных водах. Известно, что образование нитратов это конечная стадия деятельности микроорганизмов нитрификаторов. Эта группа организмов может развиваться только в аэробной среде. Не останавливаясь на обсуждении этого довольно непростого микробобиохимического процесса, отметим, что содержание нитратного азота в болотных водах эвтрофной БЭС Горного Алтая (по олиготрофной БЭС нет данных для южно-таежной подзоны) в 3,7 раза выше по сравнению с аналогичной БЭС южно-таежной подзоны. Это указывает на особенность ТЗ БЭС Горного Алтая, или на 2 особенности. Первая заключается в наличии более выраженных окислительных условий в ТЗ этих БЭС независимо от полного ее затопления с поверхности. Этому благоприятствуют и подстилающие породы данного региона. И другая особенность – достаточно высокое содержание нитратного азота - обязано богатому (в смысле разнообразия и видового состава) ботаническому составу видов торфов, слагающих ТЗ БЭС Северного Горного Алтая. Некоторые выводы были нами получены ранее. Но в будущем еще целый ряд предположений требует дальнейшего развития и детализации.

Выводы. Биологическая активность выражена по всей глубине торфяной залежи, но ее высокая активность проявляется в верхнем слое с высокими значениями окислительно-восстановительного потенциала независимо от генезиса БЭС. В придонных слоях горных БЭС отмечается активность микрофлоры в нижних слоях (например, актиномицетный мицелий и споры грибов). Геохимическая приуроченность БЭС южно-таежной подзоны к болотно-таежной области мало- и среднепродуктивной с заторможенным и малой емкости биологическим круговоротом кальциево-азотного типа, кислым и кислым глеевым классами водной миграции [6] определила повышенное содержание двухвалентного железа в торфах и в процессе миграции - болотных водах. С другой стороны в ТЗ БЭС Горного Алтая более активно протекает процесс нитрификации. Это свидетельствует о разной направленности деятельности микроорганизмов в процессе трансформации органического вещества торфов на рассматриваемой территории.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки (№ 5.7004.2017/БЧ).

Литература

1. Головченко А.В., Добровольская Т.Г., Звягинцев Д.Г. Микробиологические основы оценки торфяника как профильного почвенного тела // Вестник ТГПУ. – 2008. – Вып. 4 (78). – С. 46-53.
2. Дырин В.А., Красноженов Е.П. Активность микрофлоры в целинной и рекультивируемой торфяно-болотных почвах // Вестник ТГПУ. – 2007. – Вып. 6. – С. 33-38.
3. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов. Кн. 2. – М.: Наука, 1994. – 303с.
4. Казначеев В.П., Яншин Ф.Г. Учение В.И. Вернадского о преобразовании биосферы и экологии человека. – М.:Знание, 1986. – 75 с.
5. Лисс О.Л., Абрамова Л.И., Аветов Н.А., Березина Н.А., Инишева Л.И. и др. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение. – Тула: Гриф и Ко, 2001. – 584 с.
6. Нечаева Е.Г. Геохимические закономерности торфообразования на Западно-Сибирской равнине // География и природные ресурсы. – 1992. – №3. – С.21-29.
7. Смагин А.В. Почвенно-гидрофизическое обеспечение исследований газовой функции западносибирских болот в связи с проблемой парникового эффекта // Экологический Вестник Сев. Кавказа. – 2007. – Т. 3. – № 3. – С. 46-58
8. Технический анализ торфа. – М.: Недра, 1992. – 358с.

**ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И РЕЖИМ РЕК АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ
СИБИРИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ПРОГНОЗИРУЕМОЕ
ИЗМЕНЕНИЕ, МАСШТАБЫ И СТРУКТУРА ХОЗЯЙСТВЕННОГО
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

Магрицкий Д.В., Фролова Н.Л., Евстигнеев В.М., Михайлов В.Н., Киреева М.Б., Пахомова
О.М., Повалишникова Е.С.

Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

e-mail: magdima@yandex.ru

Аннотация. Статья содержит уточненные оценки величины годовых и сезонных водных ресурсов больших рек, впадающих в арктические моря России с территории Сибири, а также Чукотского АО; знакомит с внутригодовым водным режимом этих рек и его естественно-антропогенными изменениями. Представлены результаты анализа особенностей и закономерностей многолетней изменчивости годового и сезонного стока рек, вклад в изменения водохозяйственной деятельности, прогнозы на первую половину XXI в.

Ключевые слова: водные ресурсы, режим, сток, водопользование

**WATER RESOURCES AND REGIME OF RIVERS IN THE ARCTIC ZONE OF
SIBERIA: CURRENT STATE, PREDICTED CHANGES, SCALE AND STRUCTURE
OF ECONOMIC USE**

Magritsky D.V., Frolova N.L., Evstigneev V.M., Mikhailov V.N., Kireeva M.B., Pakhomova
O.M. Povalishnikova E.S.

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia

e-mail: magdima@yandex.ru

Abstract. The paper contains the updated estimates of annual and seasonal water resources of large rivers flowing into the Arctic seas of Russia from Siberia and Chukotka, introduces intra-annual water regime of these rivers and its natural and anthropogenic changes. The results of the analysis of features and regularities of long-term variability of annual and seasonal river flow, the contribution to changes of water management, forecasts for the first half of the XXI century are presented.

Keywords: water resources, regime, runoff, water use

Российская Федерация по общим запасам пресных воды (возобновляемым и статическим) занимает среди стран мира 1-е место и уступает лишь Бразилии по возобновляемым водным ресурсам – стоку рек [5]. Тем не менее, в силу неравномерного, по сути противоположного, распределения по территории речных вод и населения, сельскохозяйственного, промышленного производства, существуют территории, испытывающие острую нехватку пресной воды. Такая ситуация давно наблюдается в средней и особенно южной частях ЕТР, в Уральском регионе, в южной части Обь-Иртышского бассейна, в Приморском крае [1, 2]. Дефицит пресноводных речных ресурсов усиливается в меженные сезоны, как следствие, с одной стороны, неравномерного распределения речного стока в течение года, с другой, увеличения водопотребления в теплый

период. В половодье и паводки, наоборот, угрозу населению и хозяйственной деятельности создают речные наводнения. Именно большой перечень водохозяйственных проблем на подобных территориях обеспечивает многочисленные гидрологические исследования, в то время как преобладающая часть рек страны и их водных ресурсов остается без должного внимания, несмотря на происходящие с ними значительные изменения, влекущие за собой последствия другого характера и пространственного масштаба. В первую очередь, это относится к северным рекам, чей сток в силу его огромной величины, с одной стороны, и сравнительно небольшой емкости арктических морей России, особенностей природных условий Заполярья, оказывает заметное влияние на морские гидрологические процессы и, возможно, региональный климат, на экосистемы речных долин и устьев, прибрежной морской зоны, на береговые геоморфологические процессы и др. Несомненный интерес представляют обнаруженные у этих рек существенные изменения объема стока и внутригодового водного режима. А с появлением в открытом доступе данных по водопользованию, появилась возможность установления реальных масштабов антропогенного вклада в наблюдающиеся изменения. В этой статье основной акцент сделан на анализе современного состояния и многолетних изменений, на определении масштабов и структуры хозяйственного использования многолетних и сезонных водных ресурсов рек, впадающих в арктические моря России с территории Сибири, а также Чукотского АО, входящего в состав Арктической зоны России (АЗР). Проведение столь масштабного и комплексного исследования стало возможным благодаря финансированию по грантам РНФ №14-37-00038.

Общие сведения. Водные ресурсы рек, впадающих в арктические моря России, формируются на огромной территории площадью 13,286 млн. км². На долю РФ приходится 12,064 км², или 70,7% всей площади страны. На этой территории насчитывается свыше 1,63 млн рек. Лишь небольшая часть рек впадает непосредственно в арктические моря. Их условно можно

подразделить на реки малые (с площадью водосбора <2 тыс. км²), средние (от 2 до 50), большие (50–200), очень большие (200–1000) и крупнейшие (>1 млн. км²) – Обь, Енисей и Лена. Суммарный сток всех рек в арктические моря России, по расчетам В.И. Бабкина, равен ~ 2908 км³/год [1]. Распределение этого стока по длине арктического побережья характеризуется большой неоднородностью (табл. 1). Около 55% водных ресурсов приходится на сток трех крупнейших рек страны, 30% – на 16 рек меньшего размера, и 15% – приблизительно на 1500 средних и малых рек. Больше всего речных вод ($\sim 48\%$) поступает в Карское море.

Водный режим рек. Основной приток воды в моря формируется в период таяния снежного покрова на равнине с добавлением атмосферных осадков, а на некоторых реках – еще и талых вод наледей, высокогорных снежников и ледников. Поэтому главной фазой водного режима является весенне-летнее половодье (табл. 2). Роль дождевых паводков в формировании годового стока наиболее высока у рек Яно-Колымского района. Здесь волна половодья имеет многовершинную форму. Раньше всего (в июне – начале июля) половодье завершается на малых и средних реках. В августе и даже сентябре половодье завершается на транзитных реках – Оби, Енисее, Лене и Колыме, на зарегулированных озерами и крайне северных реках – Пясине и Нижней Таймыре. Летняя межень хорошо выражена у рек на севере Зап. Сибири и в западной части водосбора моря Лаптевых. Для других рек характерно в основном постепенное уменьшение стока после окончания половодья, продолжающееся до начала зимнего сезона. С завершением осеннего сезона (с паводками или без них) в октябре–ноябре и с образованием ледяного покрова наступает низкая и устойчивая зимняя межень. Зимний меженный сток имеет относительно большие величины у рек Карского моря, снижается до очень малых значений на водосборах моря Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского вследствие суровых природных условий. Малые, ряд средних и даже больших рек Сибири (Анабар, Оленек, Яна, Алазея и др.) в зимний период могут перемерзнуть

(большие – на отдельных участках). В целом, характерна очень высокая доля весенне-летних месяцев в общей годовой величине стока. На побережье Карского моря она близка к 70%. В море Лаптевых (исключение устье Лены), Восточно-Сибирское и Чукотское моря в этот период поступает около 70–90% суммарного речного стока. Водность рек осенью (IX–XI) не превышает 20%. Доля стока в зимнюю межень изменяется от 1,5–4% (рр. Яно-Колымского района) до 13–18% (рр. Обь и Енисей).

Многолетние изменения годового и сезонного стока рек.

Современные глобальные и региональные изменения климата, водохозяйственная деятельность существенно влияют на объем стока и водный режим арктических рек. Многолетние колебания годового стока арктических рек отличает нечеткая цикличность и чередование периодов разной продолжительности и водности (рис. 1). Четкие (и не очень) продолжительные циклы содержат многолетние колебания годового стока рекам Обь, Яна и Индигирка. Синфазность в колебаниях стока присуща рекам Обского Севера, рекам Енисей, Хатанга, Анабар и Оленек, рекам Яна, Индигирка и Колыма. Главная же особенность многолетних колебаний стока воды большинства арктических рек – его увеличение в последние 30–40 лет (рис. 1, табл. 2). Тренд существует, в основном, за счет увеличения расходов воды со второй половины 1980-х гг., а у рек северо-восточного сектора – с середины и второй половины 1990-х гг. Рост обусловлен изменениями климатических условий формирования стока с конца 1970-х – начала 1980-х гг. [2, 3, 7]. В результате, средний сток большинства основных рек увеличился в 1976–2013 гг. на 5–10%, в сравнении с 1935–1975 гг. Больше всего водность повысилась у рек Восточной Сибири (до 10–15%). Причем рост стока продолжался в течение всего современного периода, о чем свидетельствуют положительные и нередко значимые (за 1975–2013 гг.) линейные тренды: Енисей – 1,6, Оленек – 8,4, Лена – 4,3, Яна – 5,4, Индигирка – 5,2, Колыма – 6,4%/10 лет. В устья рек Обского Севера приток речных вод в целом сократился на 0,5–2%, но в отношении рр. Надым, Пур и

Таз однозначно это утверждать нельзя ввиду низкого качества исходных данных. В низовьях Оби роста стока не отмечено из-за: 1) расположения большей части ее бассейна в южных широтах и роста потерь на испарение, 2) увеличения водопотребления на территории Китая, Казахстана и РФ. К востоку от р.Колымы "волна роста" спадает, и, возможно в бассейне Анадыря увеличение сменяется снижением годового стока. В последние несколько лет наблюдается противоположная тенденция – стабилизация или даже уменьшение расходов воды.

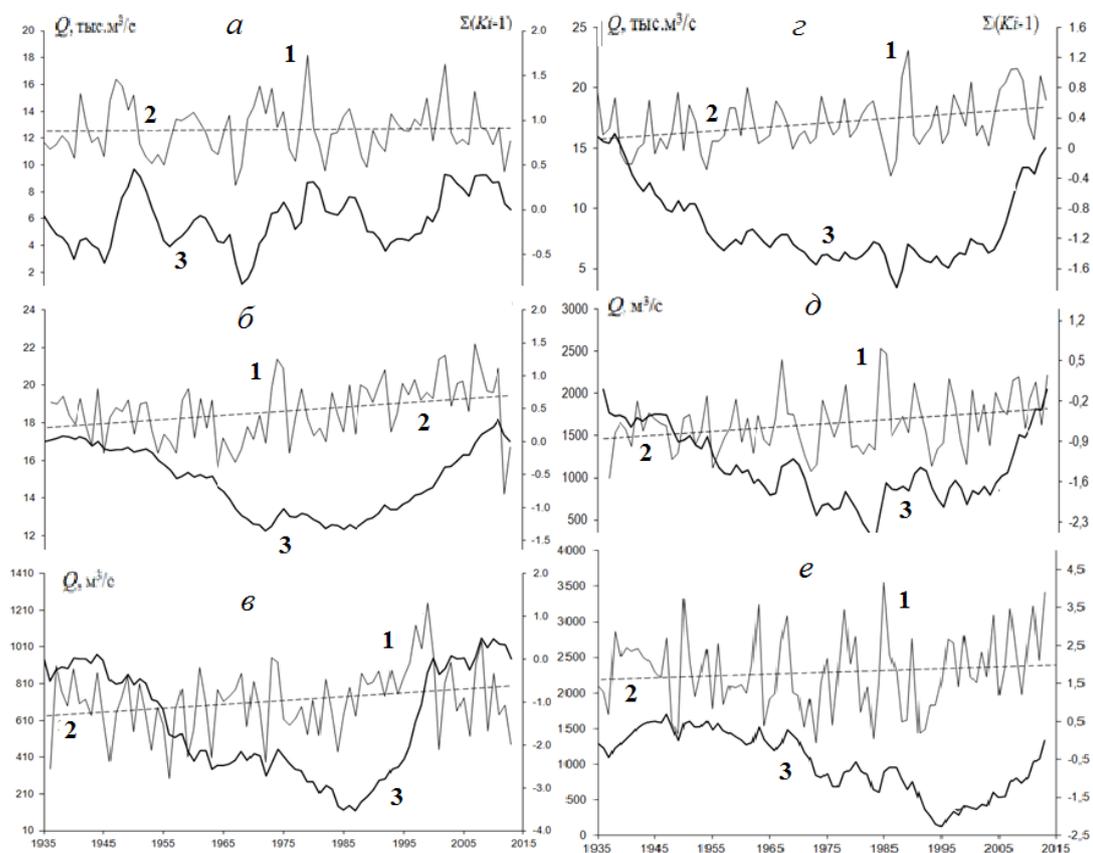


Рис.1 – Изменение годового стока рек за период 1935–2015 гг. а – Обь (Салехард), б – Енисей (Игарка), в – Оленок (Сухана), г – Лена (Кюсюр), д – Индибирка (Воронцово), е – Колыма (Среднеколымск). Обозначения: 1 – кривая среднегодовых расходов воды, м³/с; 2 – тренд; 3 – разностная интегральная кривая

Многолетние направленные колебания годового стока воды рек складываются их многолетних изменений сезонного стока и одновременно сопровождалось изменением внутригодового распределения водных ресурсов (табл. 2). У рек севера Якутии, за исключением нижней Колымы, увеличение годового стока воды произошло за счет повышения водности почти во все сезоны года. Объем стока весенне-летнего половодья вырос в

среднем на 5–7%. У зарегулированных рек Обь и Енисей отмечено снижение стока за весь период открытого русла, именно в результате межсезонного перераспределения стока воды водохранилищами, у Колымы – лишь в половодье. Диапазон изменения стока в летне-осенний период существенно шире – от 3% у Лены до 40–44% у Яны и Индигирки. В последнем случае этому могли способствовать не только осадки, но и расходование воды, аккумулированной в мерзлоте в условиях потепления, наземных и подземных ледовых комплексах. Несомненный интерес представляет динамика зимнего стока. Почти у всех рек она явно положительная. Отрицательные или близкие к нулю значения отклонения величин зимнего стока в 1976–2013 гг. (в сравнении с 1935–1975 гг.) у Яны и Индигирки – это скорее следствие очень малых значений зимних расходов в реках этого региона и низкой точности исходных данных, часть из которых пришлось восстанавливать. Заметное повышение водности зимней межени отмечено у Оби, рек Обского Севера и западной части водосбора моря Лаптевых (15–40%) и особенно у Енисея, Лены и Колымы – 68, 46 и 169% соответственно, – как следствие регулирования сезонного стока этих рек и их крупных притоков огромными водохранилищами.

Антропогенные нарушения величины и режима стока рек.

Антропогенные изменения величины и режима стока рек, впадающих в арктические моря России, связаны с освоением гидроэнергетических ресурсов этих рек, их притоков, а также с хозяйственным забором речных вод и связанных с реками озерных и подземных вод [1, 3, 6].

Водопотребление на водосборах арктических рек почти не влияет на водные ресурсы рек в их нижнем течении и устьях. Многие реки по-прежнему практически не охвачены водопотреблением. Потребление воды и отведение сточных вод достигло наибольших значений во второй половине 1970-х и в 1980-х гг. в связи с возросшими потребностями в период экстенсивного развития экономики (табл. 3). Тем не менее, в бассейнах многих рек водозабор был сравнительно небольшим или практически отсутствовал. Даже в бассейнах наиболее освоенных рек – Оби и Енисея –

изымалось 15,7 и 5,12 км³/год воды (или 3,9 и 0,8% стока в устье). Для некоторых рек на юге Обь-Иртышского бассейна и в Уральском экономическом районе хозяйственное уменьшение стока достигло предельных значений, соответствующих возникновению водного дефицита. Большая часть воды изымалась из речной сети (80–95%), остальная – из подземных водоносных горизонтов. Разность между забором речных и сбросом сточных вод формирует антропогенное уменьшение стока рек. Наибольших значений оно достигало в Обь-Иртышском бассейне (5,4 км³/год) из-за аридных условий водообеспечения, развитого сельского хозяйства и межбассейнового перераспределения стока в бассейнах верхней Оби и Иртыша.

В 1990-х гг. объемы забираемых вод сократились. В промышленности и сельском хозяйстве снижение составило в среднем 20–35%. Эта ситуация в целом сохранилась и в начале XXI в. К 2004–2013 гг. наибольший забор воды характерен для рек Оби (13,8 км³/год – без учета водозабора на территории Казахстана и Китая), Енисея (3,0) и Лены (0,3 км³/год). В бассейнах рек Обского Севера объемы потребления воды при этом возросли как следствие наращивания добычи нефти и газа. Многие территории и реки по-прежнему практически не охвачены водопотреблением. Всего из всех арктических рек в Сибири и Чукотском АО и связанных с ними подземных водоисточников изымается около 17,5 км³/год. К 2025–2030 гг. этот показатель, возможно, возрастет до 28,05 км³/год (табл. 3). В структуре водопотребления промышленность занимает ведущее место в бассейнах рр. Енисей (~51), Нижняя Таймыра (99), Лена (53), Анадырь (59%) и др. Доля ТЭС велика в бассейнах Оби (49%), Енисея (30), Яны (50), Индигирки (57) и Колымы (42). ЖКХ водоемкое в бассейнах Пура (64), Таза (52,4), Хатанги (53,3), Оленека (89), Лены (27), Анадыря (41). Объемы отведения сточных вод в реки сопоставимы с объемами их изъятия (12,0 км³/год в начале XXI в.).

Второй основной источник антропогенного воздействия – водохранилища. В Сибири и на Дальнем Востоке, в пределах арктического водосбора, размещено до 17 крупных гидротехнических сооружений и около

300 меньшего размера. Их влияние на водные ресурсы можно разделить на разовое (на заполнение водохранилищ и насыщение почвогрунтов) и ежегодное: регулирование стока, потери на испарение и др. Больше всего единовременные потери стока были у Енисея, почти 50% водных ресурсов реки. В результате значительное уменьшение стока пришлось на 1960–1970-е гг. и, особенно, на год активного заполнения Братского вдхр. (1964 г.). С ноября 2012 г. работает Богучанская ГЭС, заполнение водохранилища которой сопровождалось снижением стока Енисея, начиная с 2012 г., на фоне маловодья в бассейне Селенги (рис. 1б).

Испарение воды с водохранилищ служит фактором постоянного уменьшения водных ресурсов рек. Оно максимально у рек, имеющих каскады крупных водохранилищ (Енисей и Ангара), на территориях с большой концентрацией водоемов (Карелия и Кольский п-ов), а также в случае их нахождения в аридных районах (Обь и Иртыш). Всего со всех водохранилищ на водосборах арктических морей может испаряться ~27,5 км³ воды в год [6]. Но дополнительные потери составляют 16–75% общего испарения, поэтому испарение с водохранилищ никак не влияет на водные ресурсы арктических рек.

Многолетнее регулирование стока, как и первоначальное заполнение водохранилищ, способно влиять на характеристики притока речных вод в моря, но оно почти не изменяет норму стока, изменяя лишь его дисперсию. Изменения достигают очень больших величин у рек с каскадами водохранилищ (Енисей, Ангара) или рек с очень большими водохранилищами (Иртыш, Вилюй, Колыма), но к устьям рек нарушения стационарности рядов годового стока по дисперсии перестают быть статистически значимыми. Предельная величина многолетнего регулирования стока ограничивается полезным объемом водохранилища, но обычно для водохранилищ на рассматриваемых арктических реках не превышает 50–60% этого объема.

Наоборот, внутригодовое регулирование существенно преобразует сезонные водные ресурсы рек [1, 3, 6]. Кроме того, оно прослеживается на

расстоянии в сотни километров и даже может достигать, хотя и в трансформированном виде, устьев Оби, Енисея, Лены и Колымы. Дальше всего распространяются изменения режима зимней межени. Особенности сезонного регулирования стока рек водохранилищами зависят от водохозяйственного назначения и технических параметров каждого сооружения, от гидрологических и климатических факторов. Так, ангарские водохранилища, способные принять >50% стока реки (створ Усть-Илимской ГЭС), мало изменили режим Ангары из-за ее высокой естественной зарегулированности Байкалом. Возможно, величина этих изменений возрастет с условиях эксплуатации Богучанского гидроузла и в связи с наступившим глубоким маловодьем на водосборе самого озера.

Прогноз изменения водных ресурсов. Изменение водных ресурсов и водного режима арктических рек в XXI в., вероятно, продолжится вследствие глобального и регионального потепления [1, 3, 8, 9]. В основном, ожидается увеличение годового стока воды северных рек. К середине XXI в. относительное увеличение водных ресурсов Оби, Енисея и Лены может составить от 4–14% и больше. Но для Оби прогнозы в отношении будущего водного стока неоднозначны. Это объясняется ожидаемым небольшим изменением осадков и существенным увеличением испарения в степной и лесостепной частях ее бассейна. Наибольшее относительное увеличение стока прогнозируется к середине XXI в. для Лены (максимально до 35%) и Колымы (43%), а в абсолютных единицах — для Енисея и особенно Лены. Во внутригодовом распределении будет возрастать роль зимнего стока рек.

Литература

1. Водные ресурсы России и их использование. – СПб.: ГГИ, 2008. – 600 с.
2. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. – М.: Росгидромет, 2014. – 1017 с.
3. Геоэкологическое состояние арктического побережья России и безопасность природопользования / под ред. Н.И. Алексеевского. – М.: ГЕОС, 2007. – 585 с.
4. Государственный водный кадастр. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество. Ежегодное издание. – Л., СПб., 1982-2014.
5. Михайлов В.Н., Добровольский А.Д., Добролюбов С.А. Гидрология. – М.: Высшая школа, 2007. – 463 с.
6. Магрицкий Д.В. Антропогенные воздействия на сток рек, впадающих в моря Российской Арктики // Водные ресурсы. – 2008. – Том 35. – № 1. – С. 1-14.

7. Магрицкий Д.В. Факторы и закономерности многолетних изменений стока воды, взвешенных наносов и теплоты Нижней Лены и Вилюя // Вестник Московского ун-та. Сер. 5. География. – 2015. – № 6. – С. 85-95.
8. Мелешко В.П., Катцов В.М., Мирвис В.М., Говоркова В.А., Павлова Т.В. Климат России в XXI веке. Часть 3. Будущие изменения климата, рассчитанные с помощью ансамбля моделей общей циркуляции атмосферы и океана СМIP3 // Метеорология и гидрология. – 2008. – №9. – С. 5-21.
9. Мохов И.И., Семенов В.А., Хон В.Ч. Оценка возможных изменений гидрологического режима в XXI веке на основе глобальных климатических моделей. // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. – 2003. – Том 39. – №2. – С. 150-165.

Таблица 1 – Основные характеристики годового стока воды наиболее крупных рек российского сектора водосбора Северного Ледовитого океана

Река	Период наблюдений	Замыкающий створ					Устьевой створ	
		площадь водосбора, тыс. км ²	расход, м ³ /с	объем стока, км ³	модуль стока, л/с·км ²	слой стока, мм	площадь водо-сбора, тыс. км ²	объем стока, км ³
Реки Европейской территории России								
Поной	1935–2013	15,3	174	5,50	11,4	359	15,5	5,55
Ковда	1935–2013	26,0	277	8,75	10,7	337	26,1	8,80
Кемь	1936–2013	27,6	275	8,68	9,96	314	27,7	8,70
Нижний Выг	1956–2000	26,5	267	8,43	10,1	318	27,1	8,60
Онега	1935–2013 ¹	55,7	500	15,8	9,0	283	56,9	16,2
Северная Двина	1935–2013	348	3180	100	9,1	288	357	103
Мезень	1935–2013	56,4	638	20,1	11,3	357	78,0	27,3
Печора	1935–2013	248	3470	110	14,0	442	322	147
Реки Сибири и Дальнего Востока								
Обь	1935–2013	$\frac{2430^2}{2953}$	12600	398	$\frac{5,2}{4,3}$	$\frac{164}{135}$	$\frac{2470}{2990}$	408
Надым	1955–1991, 2000–2004, 2011–2013	48,0	450	14,2	9,4	296	64,0	18,1
Пур	1939–1991	95,1	900	28,4	9,5	299	112	32,9
Таз	1962–1996	100	1060	33,5	10,6	335	150	45,8
Енисей	1936–2013	2440	18600	587	7,6	241	2580	632
Пясина	–	166	–	–	–	–	182	71,2
Нижняя Таймыра	1944–1994	123	1050	33,2	8,5	270	124	33,5
Хатанга	1961–1994	275	(2310)	(73,0)	(8,4)	(265)	364	(87,1)
Анабар	1943–2013 ¹	78,8	467	14,7	5,9	187	100	18,0
Оленек	1936–2013 ¹	198	1120	35,3	5,7	179	219	38,8
Лена	1935–2013	2430	17100	540	7,0	222	2490	550
Яна	1935–2013 ¹	224	1065	33,6	4,8	150	238	35,1
Индигирка	1937–2013 ¹	305	1640	51,8	5,4	170	360	55,4
Алазея	1962–2013 ¹	29,0	51,7	1,63	1,8	56	64,7	3,3
Кольма	1935–2013 ¹	526	3290	104	6,3	197	647	124
Амгуэма	1944–1990	26,7	273	8,65	10,3	324	28,1	9,18

Примечания. 1 – данные неполные, средний сток приведен к многолетнему периоду; 2 – в числителе площадь водосбора, в знаменателе площадь бассейна (включая бессточные территории)

Таблица 2 – Внутригодовое распределение стока воды (в %) в низовьях основных рек, впадающих в моря сибирского сектора российской Арктики и его изменение

Река	Характеристика	Сезонный сток			Год
		весна (половодье)	лето–осень	зима (межень)	
Обь	распределение стока в 1935–1975 гг.	59,8 (5–8)	29,8 (9–10)	10,4 (11–4)	100
	изменение величины сезонного стока в 1976–2013 в сравнении с 1935–1975 гг.	–3,2	–8,9	17,9	–0,4
	вклад в увеличение годового стока	0	0	100	
Енисей	распределение в 1936–1975 гг.	67,4 (5–7)	24,9 (8–10)	7,7 (11–4)	100
	изменение величины сезонного стока в 1976–2013 в сравнении с 1935–1975 гг.	–4,9	–6,9	68,4	5,4
	вклад в увеличение годового стока	0	0	100	
Оленек	распределение в 1936–1975 гг.	76,8 (5–7)	22,8 (8–10)	0,4 (11–4)	100
	изменение величины сезонного стока в 1976–2013 в сравнении с 1935–1975 гг.	7,8	26,9	28,5	12,2
	вклад в увеличение годового стока	48	50	2	
Лена	распределение в 1935–1975 гг.	62,1 (5–7)	34,5 (8–10)	3,4 (11–4)	100
	изменение величины сезонного стока в 1976–2013 в сравнении с 1935–1975 гг.	4,6	3,1	46,3	7,4
	вклад в увеличение годового стока	41	15	44	
Яна	распределение в 1935–1975 гг.	77,4 (5–8)	22,3 (9–10)	0,3 (11–4)	100
	изменение величины сезонного стока в 1976–2013 в сравнении с 1935–1975 гг.	6,3	39,7	–8,1	10,1
	вклад в увеличение годового стока	53	47	0	
Индигирка	распределение в 1936–1975 гг.	73,0 (5–8)	26,1 (9–10)	0,9 (11–4)	100
	изменение величины сезонного стока в 1976–2013 в сравнении с 1935–1975 гг.	4,9	44,1	0,2	10,8
	вклад в увеличение годового стока	38	62	0	
Колыма	распределение в 1935–1975 гг.	67,3 (5–7)	31,2 (8–10)	1,5 (11–4)	100
	изменение величины сезонного стока в 1976–2013 в сравнении с 1935–1975 гг.	–7,5	14,6	169	4,6
	вклад в увеличение годового стока	0	47	53	

Примечание. В скобках указаны границы гидрологических сезонов

Таблица 3 – Объемы водопотребления (млн м³/год) в бассейнах сибирских рек, впадающих в арктические моря. По данным из [4] и Схемам комплексного использования и охраны водных объектов (<http://www.dpbvu.ru>, <http://skiovo.enbv.ru>, <http://nobwu.ru>, <http://www.amurbvu.ru>)

Бассейн реки	В 1981–1990 гг.		В 2004–2013 гг.		В 2025–2030 гг.	
	водозабор*	водоотведение в речную сеть	водозабор*	водоотведение в речную сеть	водозабор*	водоотведение в речную сеть
Обь	15927	10291	13762**	8748**	16300**	–
Надым	–	–	16,0	9,13	24,8	13,3
Пур	–	–	97,2	35,9	129	40,4
Таз	–	–	1,9	1,2	2,7	0,6
Енисей	4909	4237	3009	2633	10060	8818
Пяси́на	–	–	241	180	818	685
Анабар	–	–	1,24	1,24	2,4	0,6
Оленек	–	–	0,05	0	0,055	0
Лена	370	327	298	295	408	320
Яна	–	–	6,6	4,3	9,9	6,6
Индигирка	(5)	(2,9)	7,5	4,0	12,5	9,8
Алазея	–	–	0,11	–	0,11	–
Колыма	114	72	56,4	38,8	148,3	86,1
Анадырь	–	–	0,39	0,19	0,96	0,39

Примечания: * из поверхностных и подземных источников (с ущербом для стока), ** без данных по водопотреблению на территории Казахстана и КНР; в скобках – очень приблизительные данные

МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОЗЕР ЛАНДШАФТНЫХ ЗОН СИБИРИ

Маликова И.Н., Страховенко В.Д.

Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск, Россия

e-mail: michurina@igm.nsc.ru

Аннотация. В работе рассматриваются содержания микроэлементов в донных отложениях озер и почвах их водосборных площадей ландшафтных зон Сибири. Содержания микроэлементов в природных обстановках соответствуют фоновым значениям и не изменились существенно за последние 100-150 лет, за исключением Cd и Hg. Основными факторами, влияющими на фоновые оценки, являются минеральный состав донных осадков и расположение озерных систем в ландшафтных зонах.

Ключевые слова: ландшафтные зоны, почвы, донные отложения, микроэлементы, Сибирь.

TRACE ELEMENTS IN LAKE SEDIMENTS OF LANDSCAPE ZONES IN SIBERIA

Malikova I.N., Strakhovenko V.D.

Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia

e-mail: michurina@igm.nsc.ru

Abstract. In this work, the content of trace elements in sediments of lakes and soils of their catchment areas of landscape zones in Siberia is considered. The content of trace elements in natural environment corresponds to the background values and did not change significantly in the last 100-150 years, except for Cd and Hg. Main factors affecting the background assessment are the mineral composition of bottom sediments and the location of lake systems in landscape zones.

Keywords: landscape zones, soils, sediments, trace elements, Siberia.

Введение

Поведение элементов в процессах современного осадкообразования, закономерности их распределения и концентрирования в разных ландшафтных обстановках представляют важную фундаментальную проблему геохимии. Ландшафтно-геохимические процессы, определяющие миграционные потоки элементов и формы их нахождения в окружающей среде, обуславливают их региональные фоновые уровни и формирование природных и техногенных аномалий. Эта информация содержится в донных отложениях озер. Геохимическое изучение озерных систем позволяет повысить информативность донных отложений для решения задач оценки регионального геохимического фона. Современное состояние изученности геохимии донных осадков малых озер Сибири значительно отстает от изучения этой проблемы для озер Европейской части России и других регионов мира.

Большую роль для определения реперных, фоновых значений содержания микроэлементов играет изучение озерных систем в районах, удаленных от промышленных центров. Целью работы является оценка

фоновых содержаний микроэлементов в донных отложениях малых озер разных ландшафтных зон.

Объекты и методы исследования

В работе использованы данные по содержанию микро- и макроэлементов в основных депонирующих средах: донных отложениях озер и почв их водосборов в разных ландшафтных зонах Сибири. Основные ландшафтные зоны: тундровая и лесотундровая (ЯНАО), северо-таежная (ЯНАО, Республика Саха, Красноярский край), зона южной тайги (Новосибирская Томская области), лесостепная зона (Алтайский край, Новосибирская и Иркутская области, Республика Алтай), степная и сухостепная (Алтайский край, Новосибирская область, Республики Алтай и Тува), горно-таежная и горно-степная (Алтайский край, Иркутская, Республики Бурятия, Алтай, Тува).

Отбор проб донных отложений проведен двумя типами пробоотборников: цилиндрическим с лепестковым затвором и цилиндрическим с вакуумным затвором конструкции НПО «Тайфун», позволяющим извлекать илистые сильнообводненные и песчанистые осадки. Керн донных отложений опробован по-интервально с шагом 1 см или 3 см на глубину от 30 до 90 см, в зависимости от плотности и вязкости осадка. Осадки высушивались до воздушно-сухого состояния. Осадки высушивались до воздушно-сухого состояния. Почвы отбирались на ненарушенных, преимущественно целинных, участках по генетическим горизонтам. Массовое опробование проведено по верхним почвенным горизонтам: перегнойному и гумусово-аккумулятивному, а в опорных разрезах до почвообразующих пород.

Микро- и макрокомпоненты в почвах и донных отложениях определялись в воздушно-сухом веществе методом атомной абсорбции с использованием пламенной и электротермической атомизации. Ртуть определялась методом «холодного пара» с применением техники

амальгамации на ртутно-гидридной приставке MHS 20 к прибору 3030 фирмы «Перкин-Элмер».

Минеральный состав почв и донных отложений исследовался под биноклюром и частично методом рентгенофазного анализа в рентгеновской лаборатории ИГМ СО РАН (аналитик Солотчина Э.П.).

Результаты и обсуждение

Средние содержания макро- и микроэлементов в донных отложениях озер и почвах приведены в таблице 1 и 2. Сопоставление концентраций элементов в донных осадках с составом верхней континентальной коры [7] (рис. 1) показало избыточное накопление в процессе современного осадкообразования Ca, Sr, Cd, Sb, Cr, Ni, Cu и обеднение Na, Si, Al, Be, K, Th, Ba, то есть терригенной составляющей. Особенно низкие содержания Li, Na, Mg, K, Ca, Mn, Sr, Ba в донных отложениях лесотундровых/тундровых ландшафтов.

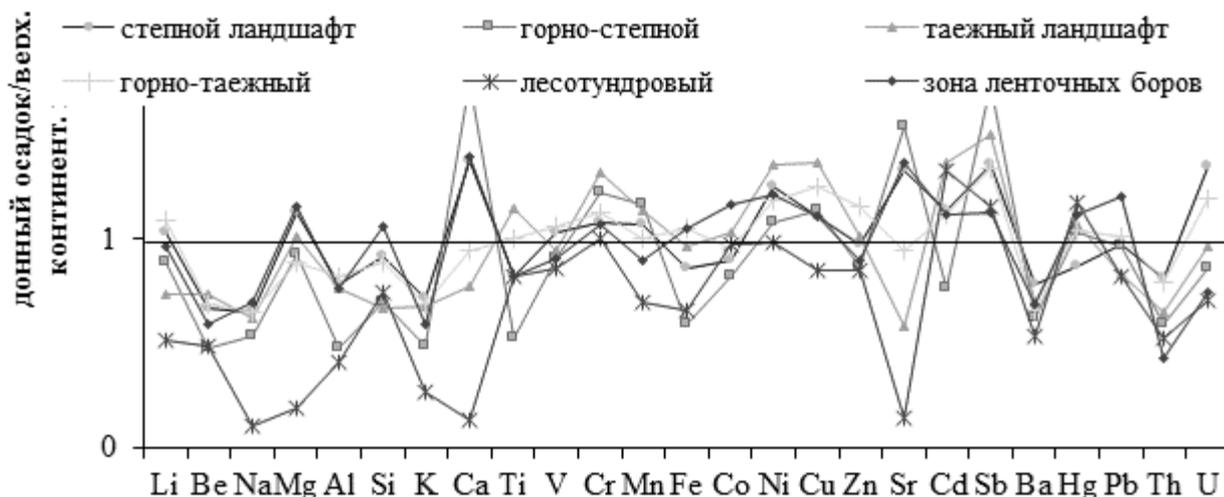


Рис. 1 – Усредненные содержания элементов в донных осадках озер нормированные к значениям концентраций верхней континентальной коры* [7] из различных ландшафтных зон Сибири

Наиболее близки к содержаниям в континентальной коре значения Mg, V, Co, Zn. Для почв содержания микроэлементов сопоставимы с данными для почв Западной Сибири [3, 4] и средним значениям для почв континентов [6] по Be, Co, Ni, Cr, Zn, Sr, Ba, Pb, Cu, U, Th, за исключением почв лесотундровой зоны (рис. 2). Таким образом, наряду с особенностями гранулометрического и химического состава почвообразующих пород [3, 4],

которые оказывают влияние на природные содержания элементов в почвах и соответственно в донных отложениях, большое значение имеет их ландшафтное расположение. Это необходимо учитывать при оценке вклада антропогенной компоненты фона и локального загрязнения тяжелыми металлами.

Сравнение данных по средневзвешенным содержаниям изученных элементов в донных осадках озер Сибири и почв их водосборных площадей (рис. 3) показывает, что они значимо (с учетом ЗБ) не различаются, за исключением Ca, Sr, Sb, хотя разные элементы имеют большую или меньшую степень отличия. Зафиксированы более высокие концентрации Ca в осадках озер всех ландшафтных зон, а в некоторых – Mn и U. Повышенные содержания Be, Ca, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Sb, Hg, Pb в донных отложениях, по сравнению с почвами, характерны для лесотундровой/тундровой ландшафтной зоны.

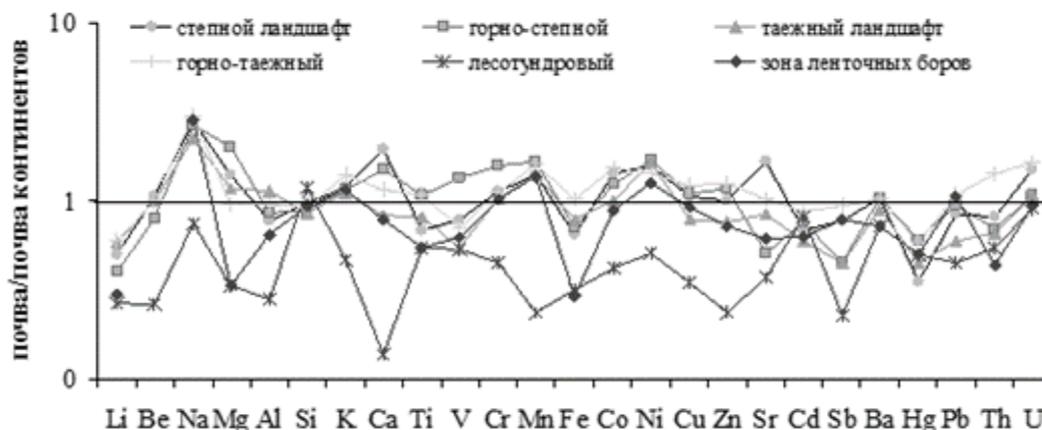


Рис. 2 – Усредненные содержания элементов в почвах водосборных площадей озер нормированные к значениям почв континента* [6] из различных ландшафтных зон Сибири

Повышенные содержания Sr характерны, в основном, для ландшафтов с дефицитом влаги, а Cd и Sb – с повышенной обводненностью. Наиболее близки к равным содержаниям в почвах и осадках концентрации Be, V, Fe, Mn, Pb, Th; значения по K, Na, Si, Al, Ba (терригенная составляющая) несколько ниже, чем в почвах.

Следует отметить, что на составы осадков оказывает влияние их минеральный тип. Об этом свидетельствует сравнение усредненных

содержаний элементов в озерных илах разного химического состава с их содержанием в верхней континентальной коре на примере Байкальского региона (рис.4).

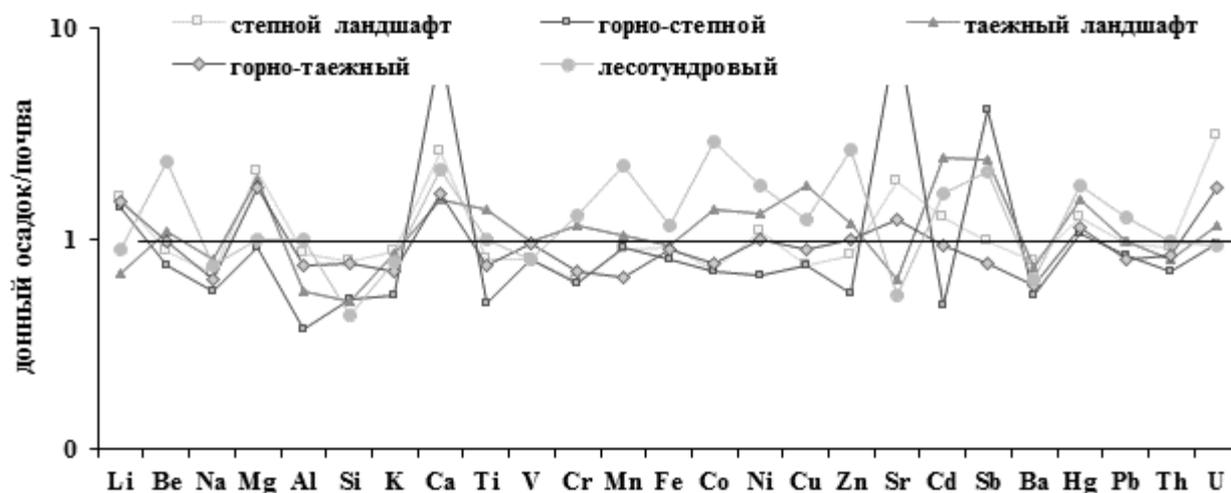


Рис. 3 – Усредненные содержания элементов в донных осадках озер нормированные к значениям в почвах их водосборных площадей из различных ландшафтных зон Сибири

Содержания V, Cu, Co, Ni, Zn, Pb во всех минеральных типах осадков близки. Наибольшие различия по содержаниям наблюдаются для карбонатного и органического типов. Максимальные содержания в органогенных осадках установлены по Cd, Sb, Hg, U, несколько им уступают Si, V, Fe, Ni; в карбонатных осадках максимальные содержания имеют Be, Mg, Ca, Sr, Sb, Hg и понижены содержания Si, Al, K, Ti, Th. Основная масса микроэлементов связана с терригенной составляющей и находится в осадках данного минерального типа на уровне содержаний в верхней континентальной коре, за исключением Na, Sb, Cd, Hg. За счет карбонатных и органогенных компонентов происходит разубоживание концентраций микроэлементов терригенной составляющей. Кластерный анализ R-типа выявил корреляционные связи между макро- и микроэлементами в трех минеральных типах. Характерные элементы терригенной составляющей – Al, K, Ba, Fe, Th, Co, Ni, V, Cu, Zn (клаустофилы); карбонатной составляющей – Ca, Mg, Mn, Sr, Na, CO₂, U (карбонатофилы); органогенной – H₂O, nnn, Hg, Sb, As, Li, Pb, Cd (органофилы, биофилы).

Согласно данным рентгеноструктурного анализа высокие концентрации кремнезема в донных отложениях связаны с присутствием в

терригенной части кварца, полевых шпатов и слюды, а также биогенным его накоплением (обломки скелетов биоты). Значительные содержания Ca, Sr, Mg, Mn обусловлены накоплением в осадках кальцита разной степени магнезиальности. В виде примесей могут присутствовать гидрослюды, хлорит, смектит, доломит, арагонит, пирит, амфибол, гипс, тенардит. Это является одной из причин различных содержаний макро- и микроэлементов в осадках.

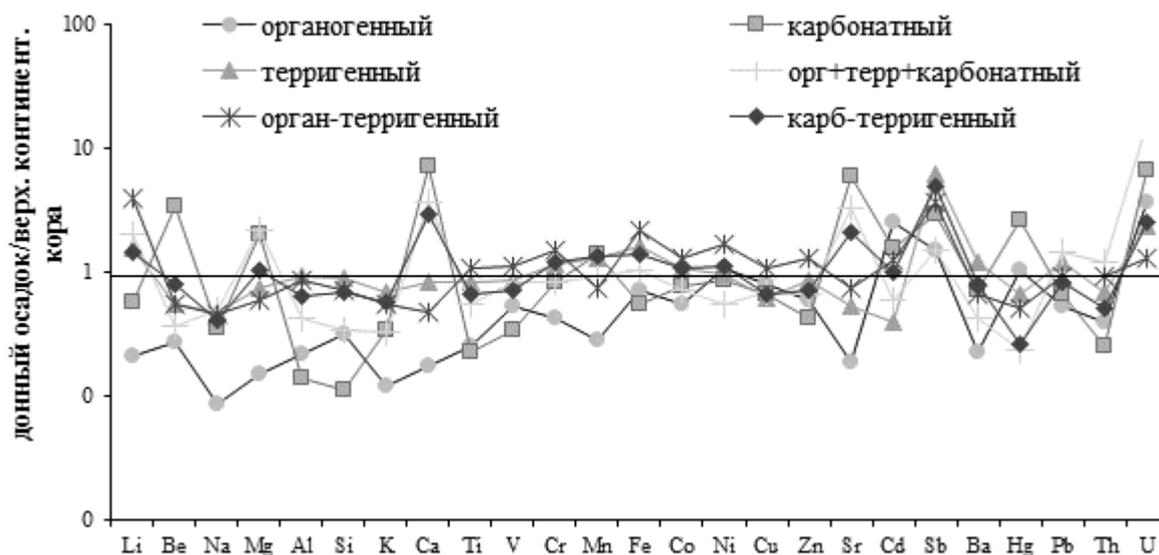


Рис. 4 – Усредненные содержания элементов в донных отложениях озер разных минеральных типов (Байкальский регион) нормированные к содержанию в верхней континентальной коре** [7]

Геохимические особенности ландшафтных зон, определяющие в конечном итоге содержания макро- и микроэлементов в почвах и донных осадках, в наиболее общем виде характеризуются составом их подземных вод. Составы озерных вод в основных чертах ему соответствуют, о чем свидетельствуют результаты их исследования в озерных системах разных ландшафтных зон Сибири.

Формирование состава подземных вод происходит под влиянием факторов, большинство которых носит зональный характер (климат, биологическая продуктивность, геохимическая среда, тип выветривания и др.) [1]. Составы подземных и озерных вод изменяются от гидрокарбонатных кальциево-натриевых, глеевых пресных и ультрапресных, слабокислых в тундровой/лесотундровой зоне до соленоватых, слабощелочных хлоридно-

сульфатных и сульфатно-хлоридных кальциево-магниевых в степной /сухостепной зоне с испарительным режимом в условиях аридного климата. Наиболее полная характеристика состава подземных вод ландшафтных зон Сибири была дана С.А. Шварцевым [5].

Нормирование содержаний макро- и микроэлементов в подземных водах разных ландшафтных зон по средним содержаниям для вод Сибири показывает, что в тундровой /лесотундровой зоне они значительно ниже, за исключением содержаний Al и Sb. В водах таежной зоны соотношение содержаний близко к 1 по Li, Be, Mg, K, Ca, Fe, Hg, а по Na, Si, Ti, Mn, Co, Cu, Pb они превышают значения для тундровой/лесотундровой зоны. В водах степной/лесостепной зоны по всем элементам наблюдаются самые высокие значения соотношения, и по некоторым элементам, в том числе Na, Be, Li, Mg, Ca в 2 раза и более превышают средние. В водоемах с достаточно высокими значениями рН и минерализации складываются условия для эффективного выведения ряда элементов из воды и их депонирования в донные отложения. В тундровой/лесотундровой зоне накоплению значительной части элементов в донных отложениях, по сравнению к почвам способствуют слабо развитые процессы выветривания и соответственно низкое поступление микроэлементов в озерную воду.

Анализ вертикального распределения микроэлементов в обобщающих разрезах донных осадков озер по ландшафтным зонам Сибири позволяет выделить два типа [рис. 5]. В первом случае верхние и нижние горизонты донных отложений практически не отличаются по содержаниям большинства микроэлементов (Cu, Zn, Cr, Ni, Co, Be, Sb, Mn, и др.). Другой тип распределения отмечается для Hg, Cd, иногда Pb: в большинстве разрезов в верхней части их содержания увеличиваются. Для значительной части разрезов подобный характер распределения наблюдается в донных отложениях водоемов, находящихся около промышленных объектов и населенных пунктов. Наиболее вероятной причиной этого является антропогенное загрязнение.

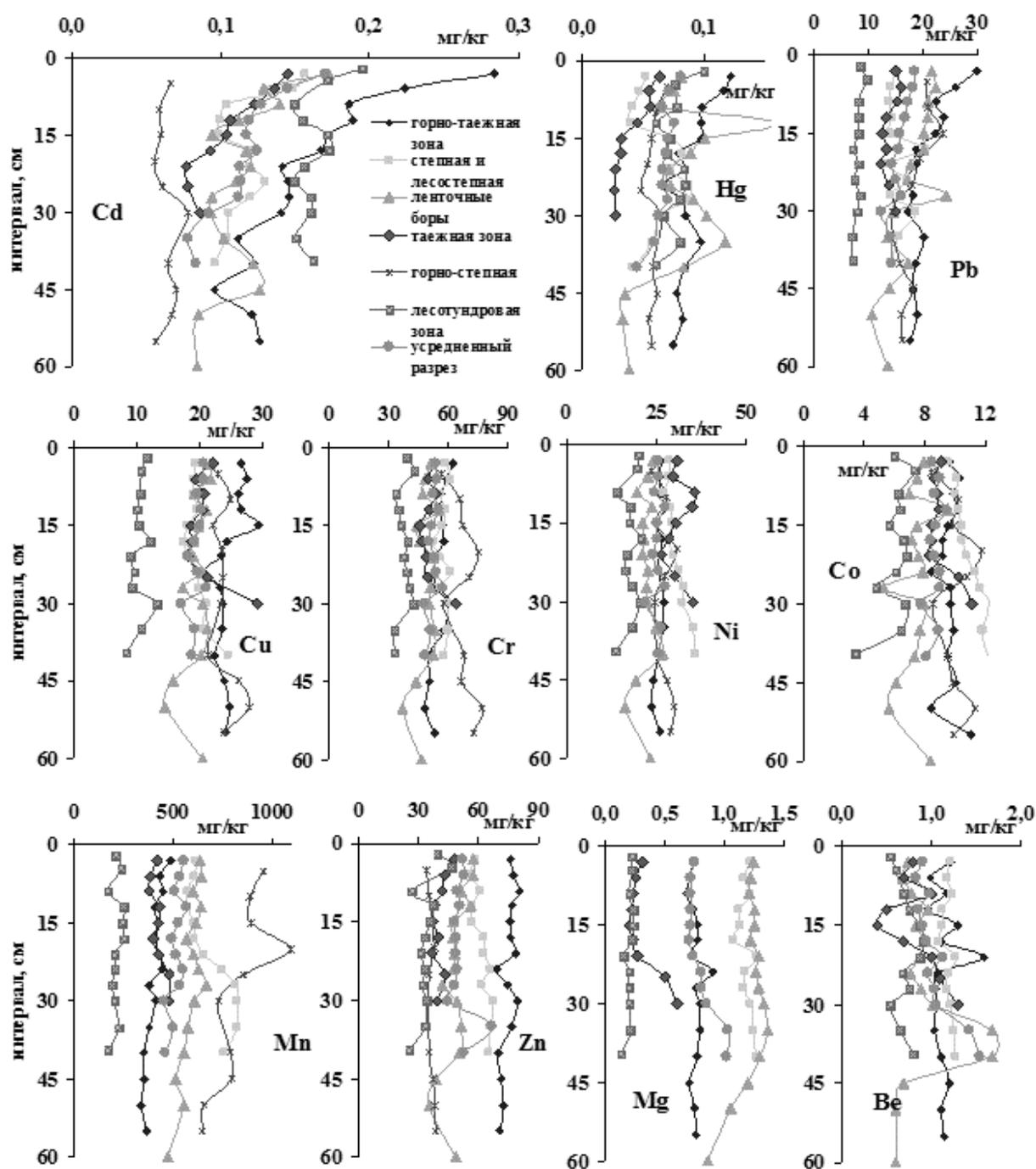


Рис. 5 – Распределение элементов в усредненных разрезах донных отложений ландшафтных зон Сибири

Таким образом, по содержаниям микроэлементов в донных осадках озер на протяжении последних 100-150 лет не происходило изменения геохимического фона, что подтверждает ранее сделанный вывод по отдельным регионам Сибири [2]. Содержания Cd и Hg в последнее время увеличиваются вследствие локальной антропогенной нагрузки, регионального и глобального переноса.

Выводы

1. Содержания микроэлементов в донных отложениях озер в природных ландшафтах Сибири соответствуют фоновым значениям и не претерпели существенных изменений за последние 100-150 лет. Содержания Cd и Hg увеличились в результате техногенной нагрузки, но близки к уровню концентраций в верхней континентальной коре.

2. Содержания микроэлементов в почвах и донных отложениях зависят от расположения озерных систем в ландшафтных зонах, что необходимо учитывать при оценке антропогенного загрязнения.

3. По усредненным данным содержаний элементов в донных отложениях разных минеральных типов, терригенные и органо-терригенные осадки наиболее соответствуют содержаниям в верхней континентальной коре.

Работа выполнена при поддержке государственного проекта 0330-2016-0011 и ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН.

Литература

1. Кирюхин В.А., Коротков А.И., Шварцев С.Л. Гидрогеохимия // – М.: «Недра», 1993. – 383 с.
2. Страховенко В.Д., Щербов Б.Л., Маликова И.Н. Закономерности распределения микроэлементов в донных отложениях Сибири // Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде. Материалы IV междунар. научно-практической конф., Семипалатинск, 2006. т. II. – С. 263-269.
3. Сысо А.И. Общие закономерности распределения микроэлементов в покровных отложениях и почвах Западной Сибири // Сибирский экологический журнал. – 2004. – № 3. – С. 273-287.
4. Сысо А.И., Ильин В.В., Черевко А.С. Элементный химический состав почв юга Западной Сибири и факторы его определяющие // Сибирский экологический журнал. – 2002. – № 3 – С. 305-311.
5. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза // – М.: «Недра», 1978. – 287 с.
6. Ярошевский А.А. Распространенность химических элементов в земной коре // Геохимия. – 2006. – № 1. – С. 54-62.
7. Wedepohl K.H. The composition of the continental crust // Geochim et Cosmo chim. Acta. 1995. – V 59. – N 7. – P. 1217-1232.

Таблица 1 – Средние содержания элементов в донных осадках озер и почвах их водосборных площадей различных ландшафтных зон Сибири

Ландшафт	Mg	Ca	K	Na	Fe	Mn	V	Li	Sr	Ba
	%					мг/кг				
Донные отложения (среднее арифметическое ± стандартное отклонение)										
лесо-тундровый	0,2±0,1	0,4±0,2	0,5±0,2	0,3±0,1	1,4±0,9	264±240	38±21	7±5	44±21	231±112
степной	1,7±1,5	7,1±14	1,5±0,8	1,2±1,1	2,2±0,8	624±701	56±41	24±18	672±985	402±356
ленточные боры	1,2±0,5	7,4±6,8	1,1±0,7	1,3±1,2	3,5±2,1	419±356	43±32	20±18	736±921	325±302
таежный	1±1	1,8±1,2	1,3±0,9	1,0±0,5	2,8±2,5	715±290	47±35	12±8	120±99	329±317
горно-степной	1,1±1,3	17±21	0,9±0,4	0,9±1,0	1,2±0,6	763±530	43±27	17±15	1093±998	279±112
горно-таежный	1,0±1,1	2,6±2,7	1,4±0,9	1,2±1,0	3,5±1,9	530±230	61±42	27±18	280±285	305±234
Усредненный состав	0,9±0,2	6,0±8,5	1,1±0,6	1,0±0,5	2,4±0,7	552±313	48±26	18±15	491±487	312±156
Почва (среднее арифметическое ± стандартное отклонение)										
лесо-тундровый	0,2±0,1	0,2±0,1	0,7±0,4	0,4±0,2	1,2±0,5	118±112	48±22	8±5	82±56	359±309
степной	0,8±0,4	2,7±2,7	1,7±1,5	1,7±1,1	2,4±1,1	702±356	71±54	15±11	362±285	515±411
ленточные боры	0,2±0,2	1,1±0,9	1,6±0,8	1,7±0,7	1,1±0,5	690±389	56±25	9±8	134±124	356±298
таежный	0,7±0,6	1,2±0,9	1,6±1,4	1,4±1,2	3,0±2,0	693±348	49±41	18±15	186±152	451±401
горно-степной	1,2±1,1	2,1±1,4	1,6±1,1	1,6±0,9	2,7±2,1	834±784	122±89	12±8	112±101	521±552
горно-таежный	0,6±0,3	1,6±1,1	1,9±1,2	1,8±1,1	3,9±1,8	800±501	64±31	18±11	225±211	508±504
Усредненный состав	0,6±0,4	1,5±1,0	1,5±1,1	1,4±0,7	2,4±0,9	640±322	68±28	13±9	184±172	451±453
Средние значения в почвах Зап. Сибири*					2,5±1,0	797±440	87±34		209±127	541±202
Средние значения для верхней контин. коры**	1,3	3,0	2,8	2,9	3,5	600	60	20	350	550
Средние значения для почв континентов**	0,6	1,4	1,4	0,6	3,8	500	90	30	220	500

Таблица 2 – Средние содержания микроэлементов (мг/кг) в донных осадках озер и почвах их водосборных площадей различных ландшафтных зон Сибири

Ландшафт	Cd	Pb	Cu	Zn	Cr	Ni	Co	Hg	Sb	Be	
Донный осадок											
лесо-тундровый	0,21±0,1	11±10	10±6	37±30	35±20	18±10	11±4	0,09±0,05	0,4±0,2	0,9±0,5	
степной	0,14±0,1	16±8	18±4	49±10	42±27	34±4	9±2	0,04±0,02	0,7±0,6	1,4±1,1	
ленточные боры	0,13±0,05	27±11	18±11	41±15	41±28	31±6	17±5	0,08±0,02	0,4±0,4	1,2±1,0	
таежный	0,23±0,1	11±4	32±21	54±24	72±41	43±20	12±4	0,07±0,11	1,0±0,9	2±1,8	
горно-степной	0,06±0,04	16±10	19±6	39±35	58±16	23±10	8±7	0,06±0,04	1,6±1,4	0,9±0,9	
горно-таежный	0,13±0,1	17±7	25±10	75±40	47±11	29±20	11±5	0,07±0,03	0,7±0,6	1,5±1,2	
Усредненный состав	0,14±0,09	18±8	22±10	52±32	52±23	32±12	11±4	0,07±0,07	0,9±0,5	1,3±1,1	
Почва											
лесо-тундровый	0,13±0,04	9±6	8±4	14±12	27±23	10±9	4±2	0,05±0,08	0,2±0,3	0,4±0,2	
степной	0,11±0,05	17±15	24±18	60±51	67±58	31±19	13±5	0,04±0,02	0,7±0,5	1,6±1,1	
ленточные боры	0,10±0,05	21±12	21±12	43±38	61±45	25±21	8±4	0,05±0,03	0,7±0,4	1,1±0,5	
таежный	0,11±0,04	18±10	22±16	56±26	69±47	35±7	11±5	0,06±0,06	0,4±0,5	1,5±0,7	
горно-степной	0,12±0,08	19±11	25±18	70±61	94±75	34±14	11±5	0,06±0,05	0,4±0,4	1,2±0,3	
горно-таежный	0,14±0,05	21±14	28±21	76±58	66±54	29±21	14±7	0,06±0,07	0,8±0,5	1,5±0,4	
Усредненный состав	0,12±0,07	19±8	24±12	61±25	71±33	31±11	11±6	0,06±0,05	0,6±0,3	1,5±0,6	
Средние значения в почвах Зап. Сибири*		18±6	31±14	73±30	84±27	42±12	13±4			2,1±0,9	
Средние значения для верхней части контин. коры**		0,10	17	14,3	52	35	18,6	11,6	0,056	0,3	3,1
Средние значения для почв континентов**		0,16	20	23	60	60	20	9	0,11	0,9	1,5
Средние значения в современных океанах**		0,28	52	237	130	60	97	65		1,6	

Примечание: среднее арифметическое ± стандартное отклонение

РАЗНООБРАЗИЕ ИХТИОФАУНЫ ВТОРОСТЕПЕННЫХ ПРИТОКОВ РЕКИ СЫРДАРЬИ В СВЯЗИ С АБИОТИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ

Мамилев Н.Ш.¹, Мамилев А.Ш.¹, Хабибуллин Ф.Х.¹, Беккожаева Д.К.¹, Амирбекова Ф.Т.¹,
Адилбаев Ж.А.²

¹ *НИИ Проблем биологии и биотехнологии КазНУ им. Аль-Фараби,
г. Алматы, Республика Казахстан*

² *Каратауский государственный природный заповедник, г. Кентау, Республика Казахстан*

e-mail: mamilov@gmail.com

Аннотация. Водные экосистемы реки Сырдарья испытывают повышенную антропогенную нагрузку. В связи с этим в 2011-2016 гг. были исследованы ихтиофауна и абиотические условия притоков. Содержание различных элементов в воде значительно меняется в зависимости от количества осадков. Разнообразие рыб сильно различается в основной реке и ее притоках. Как минимум для 4 видов рыб притоки являются убежищем.

Ключевые слова: абиотические условия, ихтиофауна, река Сырдарья, аборигенный

LINKING DIVERSITY OF ICHTHYOFAUNA OF SECONDARY INFLOWS OF THE SYRDARYA RIVER TO ABIOTIC PROPERTIES OF THE ENVIRONMENT

Mamilov N.Sh.¹, Mamilov A.Sh.¹, Khabibullin F.Kh.¹, Bekkozhaeva D.K.¹, Amirbekova F.T.¹,
Adilbaev Zh.A.²

¹ *Scientific Research Institute of Problems of Biology and Biotechnology, Al-Farabi Kazakh
National University, Almaty, Kazakhstan*

² *The Karatau State Nature Reserve, Kentau, Kazakhstan*

e-mail: mamilov@gmail.com

Abstract. Water ecosystems of the Syrdarya River bear high anthropogenic pressure. Therefore, fish diversity and abiotic conditions in some inflows of the main river were investigated in 2011-2016. Concentrations of some elements in the waters significantly changed depending on precipitation. Fish composition in the river and its tributaries is different. The tributaries are refuge at least for four fish species.

Keywords: abiotic conditions, ichthyofauna, the Syrdarya River, indigenous

Река Сырдарья является одной из важнейших водных артерий Азии и проходит по территории нескольких государств. Значительная часть равнинного течения и устье реки расположены на территории Республики Казахстан. Комплексное использование не только уменьшает приток речных вод в Аральское море, но и ухудшает качество воды. Источниками загрязнения бассейна р. Сырдарья являются: разработка рудных шахт в верхних участках реки и ее притоков, эрозия и коллекторно-дренажные воды с сельскохозяйственных полей, бытовые и промышленные стоки урбанизированных территорий [1]. До 1960-х годов промысел рыбы являлся одним из важнейших занятий местного населения. В связи с использованием речного стока преимущественно для экстенсивного развития орошаемого земледелия объем и разнообразие добываемой рыбы в настоящее время

уменьшились. В случаях чрезмерного загрязнения основных водотоков второстепенные реки могут служить убежищами для аборигенной ихтиофауны. Поэтому целью нашего исследования являлось изучение разнообразия рыбного населения и условий их существования в притоках и самой реке Сырдарье в пределах Республики Казахстан.

Материалы и методики

Изучение разнообразия ихтиофауны и условий ее существования проводили ежегодно в июне с 2011 по 2016 годы. Были изучены реки Аксу, Арыстанды, Бадам, Боралдай, Бугунь, Кулан, Машат, Сарбас (Сарыбас), Шаян. Большая часть реки Сарбас расположена на территории Каратауского государственного природного заповедника и находится в нативном состоянии, остальные притоки расположены в антропогенно трансформированных ландшафтах. Река Сырдарья изучалась на территории Карагалинского государственного природного заказника (южнее поселка Шиили).

Мутность воды определяли с помощью турбонефриметра HI 93703 “Hanna Instruments”, минерализацию, температуру и pH – с помощью комбинированного прибора той же фирмы HI 98129. Цвет воды определяли визуально, запах – органолептически. Содержание отдельных элементов в пробах воды определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС).

Для проведения химического и биологического анализа донных отложений определяли качественный и количественный состав ионов в образцах грунта отобранных с различных участков бассейнов реки Сырдарья. Отбор образцов проводился согласно принципам геостатистики по международным стандартам, группируя множественные подобразцы отобранного грунта в независимые образцы, отражающие состояние анализируемого участка. Анализ ионов проводили в водной вытяжке (1:5) при комнатной температуре и естественном уровне pH. Качественный и количественный состав ионов в полученной вытяжке определяли путем

высокоэффективной ионной хроматографии (ION-HPLC, Waters), с применением стандартов международного качества SIGMA [4]. Данный подход позволяет селективно и с высокой точностью определять свободные и обменные формы ионов, которые обладают наибольшей биологической доступностью и соответственно наиболее важны в определении качества водных экосистем.

Для отлова рыб использовались мелкоячейный бредень, стандартный набор жаберных сетей с размером ячеей от 16 до 100 мм длиной 25 каждая, рыболовные сачки различной конструкции с ячейей 3-5 мм и крючковая снасть. Часть рыб была взята из промысловых уловов и у рыбаков-любителей. Рыбу фиксировали в формалине и дальнейшую обработку проводили в лаборатории.

Результаты и обсуждение

Вода коричневого цвета с большой мутностью наблюдалась в основном русле р. Сырдарьи в районе пос. Шиили, р. Аксу выше пос. Аксу. Это указывает на значительную почвенную эрозию, вызванную антропогенным нарушением растительного покрова на территории водосборных бассейнов перечисленных рек.

Р.Сарбас была исследована у нижней (южной) границы Каратауского ГПЗ. Благодаря строгому соблюдению заповедного режима пойменная растительность здесь находится в ненарушенном состоянии. Поэтому физико-химические показатели воды р.Сарбас в пределах Каратауского ГПЗ выступают в качестве эталонов чистоты для рек этого региона.

Р. Арыстанды исследована в районе гидроузла, направляющего большую часть воды на орошение. До этого участка река протекает по ущелью с крутыми склонами, где имеются большие участки с деградированной в результате перевыпаса скота растительностью. Однако пока процессы почвенной эрозии не являются ярко выраженными.

Значения рН были близки к нейтральным во всех реках бассейна, за исключением р. Арыстанды. В указанной реке реакция воды была

слабощелочной, что не характерно для рек со снеговым и грунтовым питанием. Это может быть обусловлено естественными факторами (большим вкладом в питание реки подземных вод, тектоническими движениями и др.) или же антропогенным воздействием, которое нам пока выявить не удалось.

Содержание отдельных элементов в пробах воды из рек Сырдарьинского бассейна представлено в таблице 1. Приведенные данные показывают значительные межгодовые колебания содержания различных элементов. Максимальные показатели были отмечены в относительно маловодных 2011 и 2012 годах.

Содержание большинства изучаемых элементов было наиболее высоким в самой реке Сырдарье, что определяется естественной причиной. Дело в том, что р. Сырдарья выступает в качестве приемника воды, собирающейся из многих горных рек, однако на территории Республики Казахстан река практически не пополняется, а происходит лишь испарение воды, в результате которого концентрации большинства элементов, не образующих летучие соединения, возрастают.

В грунтах рек Сырдарьинского бассейна наблюдалась существенная вариация ионных форм биологических макроэлементов – фосфатов и сульфатов. Значительные различия также отмечались и в содержании ионов магния. Наибольшее содержание сульфатов было отмечено в донных осадках в основном русле реки Сырдарья, что также связано с более высоким уровнем минерализации. Значительные уровни фосфатов были отмечены как в основном русле реки Сырдарья, так и в старице на р. Сырдарья, а также в осадках р. Арыстанды. Высокие показатели фосфатов определяют предрасположенность данных экосистем к эвтрофикации. В целом, загрязнение питательными элементами связано с чрезмерным использованием удобрений, однако деградация почв экосистем связанных с рассмотренными реками также может представлять источник загрязнения питательными элементами. Для всех рассмотренных экосистем, исключая р. Сарбас, характерно повышенное содержание ионов магния и кальция.

В ходе проведенных исследований не были встречены шип *Acipenser nudiventris* Lovetsky, 1828, сырдарьинский лжелопатонос *Pseudoscaphirhynchus fedtschenkoi* (Kessler, 1872), аральский лосось *Salmo trutta aralensis* Berg, 1908, щуковидный жерех *Aspiolucius esocinus* (Kessler, 1874) - редкие виды, занесенные в Красную книгу Республики Казахстан. Опубликованные сведения об обнаружении этих видов в течение последних 25 лет на территории Казахстана отсутствуют. В 2015 и 2016 гг. в одном из оросительных каналов была обнаружена молодь, по внешнему виду сочетавшая в себе признаки усачей и обыкновенной маринки. В целом выявленное разнообразие сообществ рыб оказалось намного беднее ожидаемого по опубликованным данным (около 48 видов) [2]. Точное определение существовавшего и нынешнего разнообразия затруднено в связи с разным пониманием объема вида разными авторами [3].

В таблице 2 представлены данные о встречаемости различных видов рыб в связи с 3 факторами среды обитания. Наличие высшей водной растительности определяется такими абиотическими факторами как скорость течения, тип грунта и глубина. Высокая температура воды является одним из основных факторов, лимитирующих распространение ельцов, тибетского гольца, гольца Кушакевича и туркестанского подкаменщика. Для этих видов верхние и/или средние участки притоков являются единственным местом обитания. Другие виды (туркестанский пескарь, обыкновенная маринка, ташкентская верховодка, аральская щиповка) в притоках обитают исключительно по причине изменившихся условий в р.Сырдарье. Такие аборигенные виды рыб как щука, шемая, чехонь, белоглазка, сом и окунь во второстепенных притоках не встречаются в силу своих биологических особенностей.

В целом результаты проведенного исследования выявили значительные межгодовые изменения в содержании различных элементов в воде и большие различия в разнообразии рыбного населения притоков и самой реки Сырдарьи на территории Республики Казахстан.

Таблица 1 – Содержание различных элементов в воде

элемент	Реки*											
	Машат		Сарбас		Сырдарья		Арыстанды		Бугунь		Шаян	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
C, мг/л	190	800	75	130	58	290	57	200	61	280	140	220
Na, мг/л	22	80	2	49	47	200	33	1000	6	48	25	38
Mg, мг/л	19.0	78.0	6.8	180.0	23.0	710.0	25.0	640.0	7.9	27.0	15.0	28.0
Si, мг/л	6.4	6.9	2.5	81.0	1.4	170.0	3.3	110.0	3.5	7.1	2.5	5.3
P, мкг/л	0	14.0	0	4.7	0	15.0	0	34.0	0	17.0	0.0	5.5
S, мг/л	10	62	4	150	56	240	41	170	5	33	25	37
Cl, мг/л	0	374	3	9	11	110	17	790	0	11	6	10
K, мкг/л	2	690	5	280	1	44	1	980	1	590	330	890
Ca, мг/л	30	150	11	380	13	860	18	730	13	39	13	31
Mn, мг/л	0	0.80	0	0.06	0	3.80	0	0.30	0	0.03	0	3.40
Fe, мкг/л	100	440	31	320	32	980	47	750	34	540	33	470
Cu, мкг/л	1.0	283.0	0	0.3	0.1	490.0	1.7	290.0	0	1.5	0.85	460.0
Zn, мг/л	0	0.19	0	0.17	0	620	0	120	0	0.05	0.01	0.82
As, мкг/л	0.84	14.61	0.32	33.00	0.25	11.00	0.64	1.60	0.66	2.60	0.31	1.30
Cd, мкг/л	0	0.03	0	0	0	0.02	0	0	0	0	0	0.02
Pb, мкг/л	0	0.09	0	0	0	0.08	0	0.03	0	0.02	0	0.01

*Примечание: «0» - содержание элемента меньше разрешающей способности прибора

Таблица 2 – Встречаемость рыб Сырдарьинского бассейна и условия обитания

Виды рыб	Встречаемость в притоках	Максимальная температура воды, °C		Максимальная мутность, FTU		Отсутствие водной растительности	
		juv.	adult	juv.	adult	juv.	adult
1	2	3	4	5	6	7	8
Аборигенные:							
Обыкновенная щука - <i>Esox lucius</i> Linnaeus, 1758	0	26	28	10	16	0	0
Аральская плотва - <i>Rutilus rutilus aralensis</i> (Berg, 1916)	+	30	30	81	62	U	S
Сырдарьинский елец - <i>Squalius squaliusculus</i> (Kessler, 1874)	+	22	21	10	10	0	S
Туркестанский язь - <i>Leuciscus idus oxianus</i> (Kessler, 1874)	+	28	28	10	12	0	0
Красноперка - <i>Scardinius erythrophthalmus</i> (Linnaeus, 1758)	+	28	28	10	10	0	0
Аральская шемая - <i>Alburnus chalcoides aralensis</i> (Berg, 1923)	0	28	28	83	83	0	S

Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии

1	2	3	4	5	6	7	8
Полосатая быстрянка - <i>Alburnoides taenatus</i> (Kessler, 1872)	0	30	30	10	10	0	0
Ташкентская верховодка - <i>Alburnoides oblongus</i> Bulgakov, 1923	+	24	26	468	468	S	U
Жерех - <i>Aspius aspius</i> (Linnaeus, 1758)	+	28	28	81	81	U	U
Восточный лещ - <i>Abramis brama orientalis</i> Berg, 1949	+	28	28	468	468	S	U
Аральская белоглазка - <i>Abramis sapa aralensis</i> Tiapkin, 1939	0	28	28	81	81	0	0
Чехонь - <i>Pelecus cultratus</i> (Linnaeus, 1758)	0	30	30	81	81	S	S
Серебряный карась - <i>Carassius gibelio</i> (Bloch, 1782)	+	32	32	468	468	S	S
Аральский сазан - <i>Cyprinus carpio aralensis</i> Spitzczakov, 1935	+	32	32	468	468	S	S
Аральский усач - <i>Barbus brachycephalus</i> Kessler, 1872	0	28	nd	100	nd	I	nd
Туркестанский усач - <i>Barbus capito conocephalus</i> Kessler, 1872?	0	28	nd	100	nd	I	nd
Туркестанский пескарь - <i>Gobio gobio lepidolaemus</i> Kessler, 1872	+	28	28	468	468	S	S
Обыкновенная маринка - <i>Schizothorax intermedius</i> McClelland, 1842	+	26	26	607	607	U	U
Тибетский голец - <i>Triplophysa stoliczkae</i> (Steindachner, 1866)	+	24	24	607	607	U	U
Терский голец - <i>Triplophysa conipterus</i> (Turdakov, 1963)	+	26	26	607	607	U	U
Серый голец - <i>Triplophysa dorsalis</i> (Kessler, 1872)	?	28	28	607	607	U	U
Пятнистый губач - <i>Triplophysa strauchii</i> (Kessler, 1874)	?	26	26	607	607	U	U
Гонец Кушакевича - <i>Iskandaria kuschakewitschii</i> (Herzenstein, 1890)	+	24	24	607	607	U	U
Аральская щиповка - <i>Sabanejewia aurata aralensis</i> (Kessler, 1877)	+	26	28	468	468	U	U
Обыкновенный сом - <i>Silurus glanis</i> Linnaeus, 1758	0	28	nd	468	468	U	U
Обыкновенный, или речной окунь - <i>Perca fluviatilis</i> Linnaeus, 1759	0	26	26	81	81	0	0
Обыкновенный судак - <i>Sander lucioperca</i> (Linnaeus, 1758)	+	28	28	81	81	U	S
Туркестанский подкаменщик - <i>Cottus spinulosus</i> Kessler, 1872	+	21	21	607	607	U	U
Чужеродные:							
Белый амур - <i>Stenopharyngodon idella</i> (Valenciennes, 1844)	0	28	28	81	81	I	0
Белый толстолобик -	0	28	32	81	81	I	S

Формирование водных ресурсов суши в условиях антропогенных воздействий

1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Hypophthalmichthys molitrix</i> (Valenciennes, 1844)							
Горчак - <i>Rhodeus sp.</i>	+	32	32	81	81	S	S
Амурский троегуб (трегубка) - <i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i> Berg, 1932	0	nd	32	nd	100	nd	S
Псевдорасбора, или амурский чебачок - <i>Pseudorasbora parva</i> (Temminck et Schlegel, 1846)	+	34	34	468	468	S	S
Речная абботтина - <i>Abbottina rivularis</i> (Basilewsky, 1855)	+	34	34	81	81	S	S
Восточная гамбузия - <i>Gambusia holbrooki</i> (Girard, 1859)	+	34	34	81	81	0	0
Медака - <i>Oryzias latipes</i> (Temminck et Schlegel, 1846)	?	34	34	81	81	0	0
Элеотрис - <i>Micropercops (Hypseleotris) cintus</i> (Dabry de Thiersant, 1872)	+	34	34	81	81	0	S
Змееголов - <i>Channa argus</i> (Cantor, 1842)	0	32	32	8	81	0	I
Китайский бычок - <i>Rhinogobius sp.</i>	+	34	34	81	81	S	S

Примечание. Рыбы: juv. – молодь, adult – взрослые. Биотопы: L (lentic) – непроточные и слабопроточные, R (river) – крупные реки, T (tributary) – притоки р.Сырдарьи, C (canal) – каналы. Встречаемость: U (usual) – обычный вид, S (seldom) – встречается иногда; I (infrequent) – встречается редко; 0 – не встречается; nd – нет данных; ? – нуждается в уточнении

Литература

1. Амиргалиев Н.А. Арало-Сырдарьинский бассейн: гидрохимия, проблемы водной токсикологии. – Алматы: Бастау, 2007. – 224 с.
2. Карпов В.Е. Список видов рыб и рыбообразных Казахстана// Рыбохозяйственные исследования в Республике Казахстан: история и современное состояние. – Алматы: Бастау, 2005. – С.152-168.
3. Мина М.В. Виды – идеальные, реальные и выделяемые по соглашению // Сборник трудов Зоологического музея МГУ. – 2008. – Т.58. – С.308-314.
4. Greenberg A.E., Cleseeri L.S., Eaton A.D. Standard methods for examination of water and wastewater. 18th Edition. – Washington DC: American Public Health Association, 1992. – 228 p.

ЛЕТНИЙ ФИТОПЛАНКТОН НОВОСИБИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В 2016 ГОДУ

Михайлов В.В.¹, Котовщиков А.В.², Баженова О.П.¹

¹ Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, г. Омск, Россия

² Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия

e-mail: slava.mikhaylov.1989@mail.ru

Аннотация: Приведены данные об обилии и структуре фитопланктона Новосибирского водохранилища летом 2016 г. Показаны особенности распределения фитопланктона по акватории, проведена оценка качества воды водохранилища и Бердского залива по показателям развития фитопланктона.

Ключевые слова: фитопланктон, качество воды, Новосибирское водохранилище.

SUMMER PHYTOPLANKTON OF NOVOSIBIRSK RESERVOIR IN 2016

Mikhailov V.V.¹, Kotovschikov A.V.², Bazhenova O.P.¹

¹ Omsk State Agrarian University after P.A. Stolypin, Omsk, Russia

² Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia

e-mail: slava.mikhaylov.1989@mail.ru

Abstract. Data on the abundance and structure of the summer phytoplankton of the Novosibirsk Reservoir in 2016 are given. The features of distribution of phytoplankton in the water area are shown, and the water quality of the reservoir and the Berdsky gulf are estimated by the phytoplankton development indices.

Keywords: phytoplankton, water quality, Novosibirsk Reservoir.

Новосибирское водохранилище – крупнейший искусственный водоем Западной Сибири. В настоящее время его основное назначение – питьевое водоснабжения населения, поэтому качество воды в водохранилище должно соответствовать санитарно-гигиеническим нормативам, особенно в местах водозабора [4].

Биоиндикация – один из ведущих методов оценки экологического состояния водоема и качества его вод, в котором фитопланктон используется как природный индикатор. Он быстро реагирует на изменения, происходящие в водоеме, изменяя свои количественные показатели и структуру, что широко применяется в биомониторинге [5].

Цель работы – рассмотреть современный уровень развития фитопланктона Новосибирского водохранилища и дать оценку качества воды.

Материалом для сообщения послужили данные обработки 45 количественных проб фитопланктона, отобранных 6–9 августа 2016 г. по всей акватории Новосибирского водохранилища (10 створов) с поверхности, дна и различных глубин фотического слоя: 0,5S, 1S, 2S (S – прозрачность

воды по диску Секки). Пробы фитопланктона отбирали батометром Молчанова и фиксировали 40 % раствором формалина. Обработка проб проведена общепринятыми методами. Численность клеток подсчитывали в камере Горяева в двух повторностях [6]. Виды-доминанты определяли по их численности [3], в доминирующий комплекс включали только те виды, обилие которых составляло не менее 10 % общей численности [2].

В пробах летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища выявлено 143 видовых и внутривидовых таксона (ВВТ) из восьми отделов, в том числе: Cyanoprokaryota – 14, Dinophyta – 3, Chrysophyta – 13, Bacillariophyta – 22, Euglenophyta – 15, Xanthophyta – 4, Chlorophyta – 66, Streptophyta – 6.

В зоне выклинивания подпора водохранилища (створы 1–3), его средней (створы 4–7) и приплотинной частях (створ 10) в поверхностном слое воды и фотических слоях доминируют цианобактерии *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs, *Planktolyngbya limnetica* (Lemm.) Kom.-Legn. & Cronb. и диатомовая водоросль *Aulacoseira granulata* (Ehr.) Simonsen.

В 6 и 7 створах средней части водохранилища в состав доминирующего комплекса входят зеленые водоросли *Chlamydomonas* sp., *Micractinium pusillum* Fres. и *Spirogyra* sp.

В Бердском заливе (створы 8, 9) на всех горизонтах доминируют *Aphanizomenon flos-aquae*, *Dolichospermum flos-aquae* (Lyngb.) Wacklin, Hofmann et Komarek, *Aphanocapsa holsatica* (Lemm.) Cronb. et Kom., *Planktolyngbya limnetica* и *Aulacoseira granulata*.

Во всех частях водохранилища, кроме Бердского залива, как по численности, так и по биомассе преобладают диатомовые водоросли, второе и третье места занимают цианобактерии и зеленые водоросли. В Бердском заливе наибольшую долю по численности и биомассе составляют цианобактерии, второе место занимают диатомовые, третье – зеленые водоросли. Эвгленовые и прочие водоросли не вносят заметного вклада в

обилие фитопланктона как в целом по водохранилищу, так и в Бердском заливе (табл. 1).

Таблица 1 – Численность и биомасса летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища (6–9 августа 2016 г.)

Створ и часть в-ща	Численность, млн кл./л	Биомасса, г/м ³	Численность, % биомасса, %				
			Цуано- prokaryota	Bacillario- phyta	Eugleno- phyta	Chloro- phyta	Прочие
1 створ	1,89±0,18	0,80±0,06	<u>23,60±5,74</u> 30,05±8,57	<u>51,13±6,04</u> 56,09±7,95	<u>2,45±2,24</u> 3,37±0,69	<u>22,50±1,12</u> 10,41±2,09	<u>0,31±0,15</u> 0,07±0,06
2 створ	2,06±0,31	0,83±0,16	<u>5,44±4,31</u> 6,57±6,56	<u>63,19±3,76</u> 72,21±3,55	<u>3,86±3,01</u> 3,74±3,73	<u>26,16±4,13</u> 13,71±2,71	<u>1,36±0,94</u> 3,78±3,68
3 створ	2,65±0,23	0,99±0,13	<u>24,66±3,56</u> 22,78±5,04	<u>47,67±3,63</u> 60,92±5,34	<u>1,72±0,57</u> 1,76±0,86	<u>25,03±4,31</u> 13,79±2,82	<u>0,93±0,38</u> 0,75±0,46
Верхняя часть в-ща	2,20±0,18	0,91±0,06	<u>17,90±6,24</u> 19,80±6,94	<u>54,00±4,70</u> 63,07±4,78	<u>2,68±0,63</u> 2,96±1,73	<u>24,56±1,08</u> 12,64±1,11	<u>0,87±0,30</u> 1,53±1,14
4 створ	3,40±0,66	1,33±0,41	<u>27,58±4,87</u> 23,85±8,38	<u>37,22±4,65</u> 50,25±6,29	<u>2,78±0,47</u> 3,86±0,63	<u>32,02±3,77</u> 21,14±2,84	<u>0,42±0,11</u> 0,90±0,89
5 створ	2,50±0,31	1,14±0,19	<u>24,83±3,46</u> 27,38±4,75	<u>35,36±4,58</u> 41,66±8,25	<u>2,14±0,61</u> 3,00±1,24	<u>36,47±1,79</u> 26,75±5,70	<u>0,90±0,32</u> 0,61±0,42
6 створ	6,09±2,79	3,26±1,58	<u>13,72±11,31</u> 9,80±8,01	<u>55,91±1,36</u> 47,57±7,09	<u>1,53±0,29</u> 0,90±0,89	<u>28,42±12,19</u> 40,53±13,63	<u>0,42±0,19</u> 1,21±0,59
7 створ	2,60±0,45	0,74±0,12	<u>33,82±10,71</u> 11,35±3,97	<u>45,20±7,49</u> 74,92±3,06	<u>1,61±0,43</u> 1,70±0,98	<u>20,00±4,48</u> 12,53±1,88	-
Средняя часть в-ща	3,65±0,84	1,62±0,56	<u>24,99±4,20</u> 18,10±4,41	<u>43,42±4,68</u> 53,60±7,33	<u>2,02±0,29</u> 2,55±0,74	<u>29,23±3,49</u> 25,24±5,88	<u>0,44±0,18</u> 0,47±0,22
8 створ	47,94±8,96	27,30±5,87	<u>85,78±3,60</u> 86,19±3,87	<u>7,70±2,42</u> 7,38±2,65	<u>0,61±0,12</u> 0,80±0,17	<u>5,49±1,32</u> 4,80±1,33	<u>0,42±0,06</u> 0,83±0,25
9 створ	6,97±1,56	3,29±1,06	<u>62,60±5,77</u> 60,19±7,25	<u>20,62±5,03</u> 25,19±5,95	<u>1,18±0,12</u> 1,24±0,40	<u>15,05±2,66</u> 11,85±4,47	<u>0,55±0,19</u> 1,59±0,86
Бердский залив	27,46±20,49	15,30±12,01	<u>74,19±11,59</u> 73,19±13,00	<u>14,16±6,46</u> 16,29±8,91	<u>0,90±0,29</u> 1,02±0,22	<u>10,27±4,78</u> 8,33±3,53	<u>0,49±0,07</u> 1,21±0,38
Нижняя часть в-ща	6,81±0,75	2,28±0,40	<u>36,63±7,32</u> 15,59±3,60	<u>48,93±7,48</u> 71,22±3,03	<u>1,09±0,19</u> 1,22±0,46	<u>13,17±0,57</u> 10,99±3,27	<u>0,88±0,87</u> 0,88±0,80
В среднем по в-щу	8,29±4,45	4,20±2,59	<u>33,38±7,51</u> 29,38±3,52	<u>41,29±5,28</u> 50,74±6,85	<u>1,90±0,30</u> 2,16±0,38	<u>22,43±2,94</u> 16,65±3,27	<u>0,62±0,12</u> 1,06±0,34

Численность фитопланктона постепенно возрастает от верхней части к приплотинной, ее минимум (1,89±0,18 млн кл./л) отмечен на первом створе верхней части. Максимального уровня вегетации фитопланктон достигает в Бердском заливе (рис. 1).

Биомасса фитопланктона по акватории водохранилища колеблется в широких пределах. Минимальные ее значения (0,74±0,12 г/м³) зарегистрированы на 7 створе в средней части водохранилища, максимальные – на 8 створе Бердского залива (27,30±5,87 г/м³) (рис. 2).

В среднем по водохранилищу, без учета данных по Бердскому заливу, биомасса фитопланктона составляет $1,42 \pm 0,31$ г/м³. В Бердском заливе из-за «цветения» воды цианобактериями биомасса фитопланктона на порядок выше. По биомассе фитопланктона качество воды Новосибирского водохранилища, согласно [2], соответствует 3 классу «удовлетворительной чистоты», разряду «достаточно чистая», а в Бердском заливе – 4 классу «загрязненная» и разряду «сильно грязная», что свидетельствует о напряженном экологическом состоянии этого участка водохранилища, вызванного ежегодным «цветением воды», связанным с развитием потенциально токсичной цианобактерии *Aphanizomenon flos-aquae* [4].

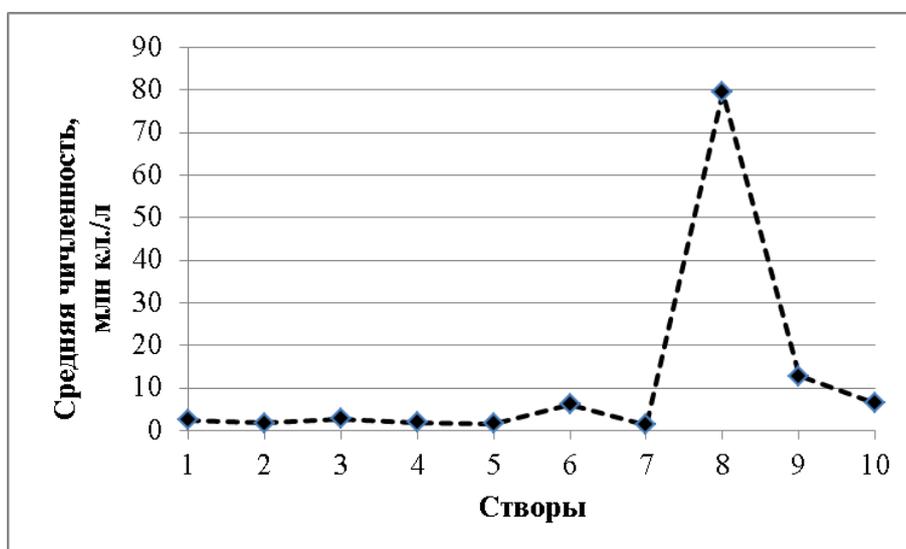


Рис. 1 – Динамика численности фитопланктона по акватории Новосибирского водохранилища, 6–9 августа 2016 г.

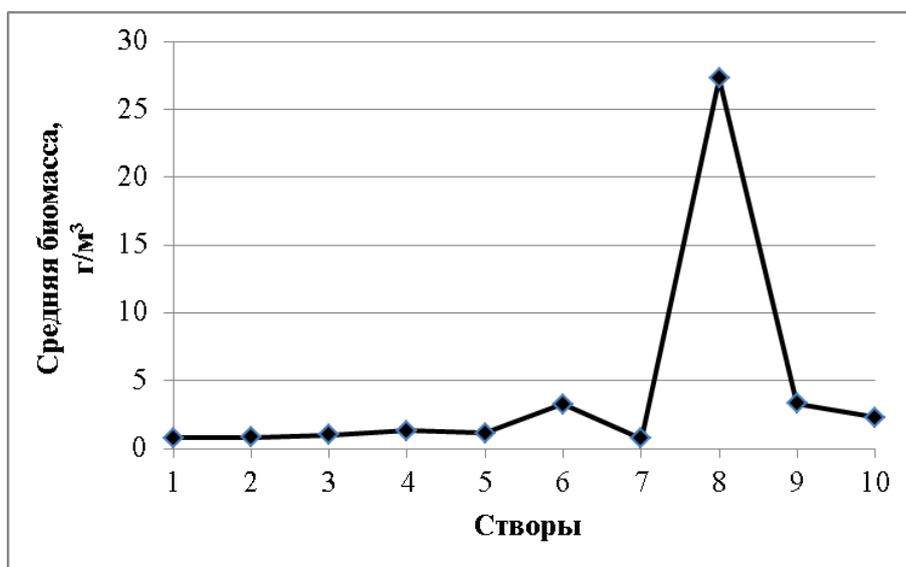


Рис. 2 – Динамика биомассы фитопланктона по акватории Новосибирского водохранилища, 6–9 августа 2016 г.

Литература

1. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши / О.П. Оксуюк, В.Н. Жукинский [и др.] // Гидробиол. журн. – 1993. – № 4. – С. 62-76.
2. Корнева Л.Г. Формирование фитопланктона водоемов бассейна Волги под влиянием природных и антропогенных факторов: автореф. дис. д-ра биол. наук. – СПб., 2009. – 47 с.
3. Михеева Т.М. Структура и функционирование фитопланктона при эвтрофировании вод: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Минск, 1992. – 63 с.
4. Многолетняя динамика водно-экологического режима Новосибирского водохранилища / В.М. Савкин [и др.]. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. – 393 с.
5. Сукцессии биоценозов Бухтарминского водохранилища: монография / О. П. Баженова [и др.]. – Омск: Изд-во ОмГАУ, 2009. – 244 с.
6. Фёдоров В.Д. О методах изучения фитопланктона и его активности. – М.: Изд-во МГУ, 1979. – 168 с.

**ЭЛЕКТРОННО-МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ДИАТОМОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА (АЛТАЙ,
РОССИЯ)**

Митрофанова Е.Ю. .

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия

e-mail: emit@iwep.ru

Аннотация. В работе приведен обзор изучения диатомовых водорослей в Телецком озере методами электронной микроскопии в период с 1989 по 2017 гг. Рассмотрены центрические и пеннатные формы диатомей, доминанты фитопланктона, новые для науки и редкие для альгофлоры озера виды планктона и перифитона, тератологические формы.

Ключевые слова: диатомовые водоросли, Телецкое озеро, электронная микроскопия

**ELECTRON MICROSCOPIC STUDIES OF DIATOM ALGAE IN LAKE
TELETSKOYE (ALTAI, RUSSIA)**

Mitrofanova E. Yu.

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia

e-mail: emit@iwep.ru

Abstract. The paper gives an overview of the diatom algae study in Lake Teletskoye using electron microscopy for the period from 1989 to 2017. The centric and pennate forms of diatoms, the dominants of phytoplankton, new species of plankton and periphyton new in science and rare in algoflora of the lake, and teratological forms are considered.

Keywords: diatom algae, Lake Teletskoye, electron microscopy

Введение. Новые возможности при изучении микроскопических объектов раскрылись с появлением электронной микроскопии. Первые растровые (сканирующие) электронные микроскопы (СЭМ), формирующие изображение объекта при последовательном перемещении электронного зонда малого сечения по объекту, были анонсированы в конце 1930-х – начале 1940-х годов, но массовое применение этих приборов в научных исследованиях началось в 1960-х годах, когда они достигли значительного технического совершенства. Использование просвечивающего (трансмиссионного) электронного микроскопа (ТЭМ) для научных исследований началось в конце 1930-х годов [9].

Одним из интересных объектов для исследований с помощью ТЭМ и СЭМ являются диатомовые водоросли, имеющие кремнистый панцирь с очень сложной структурой. Электронно-микроскопическое изучение диатомовых водорослей Телецкого озера началось в 1989 г., когда некоторые пробы фитопланктона, отобранные автором в период открытой воды, были переданы С.И. Генкалу (ИБВВ РАН, п. Борок). При исследовании этого

материала был описан новый для науки вид (*Cyclotella delicatula* Genkal), выявлены редкие и новые для озера таксоны из числа мелко- и среднечеточных центрических диатомей (*Thalassiosira pseudonana* Hasle et Heimdal, *Th. guillardii* Hasle (рис. 1), *Stephanodiscus. minutulus* (Kütz.) Cl. et Möller, *Stephanocostis chantaicus* Genkal et Kuzmina, *Stephanodiscus alpinus* Hust.), получены изображения *Rhizosolenia* cf. *eriensis* var. *morsa* W. et G.S.West [1, 2], имеющей очень нежный, тонкий и хрупкий панцирь с полукольцевидными или чешуевидными вставочными ободками с отчетливой перфорацией (рис. 2).

В середине 1990-х гг. в рамках Международной программы сравнительного изучения новейшей тектоники и осадконакопления в крупных рифтовых озерах мира (CASIMIR) началось исследование донных отложений Телецкого озера и диатомовых водорослей в них. Среди диатомей в видовом отношении некоторый интерес представляет обнаружение в ряде слоев донных отложений озера, включая поверхность, единичных экземпляров крупночеточного вида из рода *Stephanodiscus* Ehr. близкого по структуре к ископаемой форме *St. grandis* Churs. et Log. (рис. 3). Примечательно, что *St. grandis* является ведущим в плейстоценовых отложениях Байкала и до настоящего времени считается вымершим байкальским эндемиком. Присутствие же данного вида в донных отложениях озера, возможно, связано с переотложением более древних пород [4, 5].

Исследования на СЭМ Hitachi S-3400N

Центрические диатомеи. В феврале 2009 г. в ИВЭП СО РАН был принят в эксплуатацию сканирующий электронный микроскоп Hitachi S-3400N (Japan). Данный микроскоп позволяет получать изображения объектов со степенью увеличения от 5 до 300 000. С его появлением в изучении диатомовых водорослей Телецкого озера начался новый этап. Всего в современных альгоценозах (планктон, бентос и обрастания) и танатоценозах (донные отложения) Телецкого озера выявлено 442 вида диатомовых водорослей. Большинство из них встречается не часто, а некоторые являются

и очень редкими для данного водоема. Исследование проб планктона и перифитона методами электронной микроскопии позволяет пополнять список именно таких водорослей. Так, при исследовании проб, отобранных в толще воды озера, было выявлено, что группа преобладающих по численности мелкоклеточных центрических диатомовых состоит не из двух, как отмечалось ранее по результатам световой микроскопии, а из четырех видов – *C. delicatula*, *Stephanodiscus. minutulus*, *S. makarovaе* Genkal, *Stephanocostis chantaicus* [6]. Были получены изображения створок этих диатомей снаружи и изнутри (рис. 4).

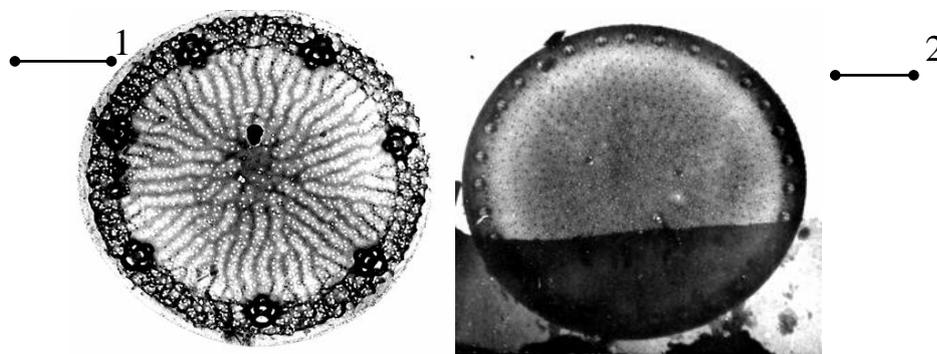


Рис. 1 – Слева направо: *Thalassiosira pseudonana* Hasle et Heimdal, *Rhizosolenia cf. eriensis* var. *morsa* W. et G.S.West, *Th. guillardii* Hasle

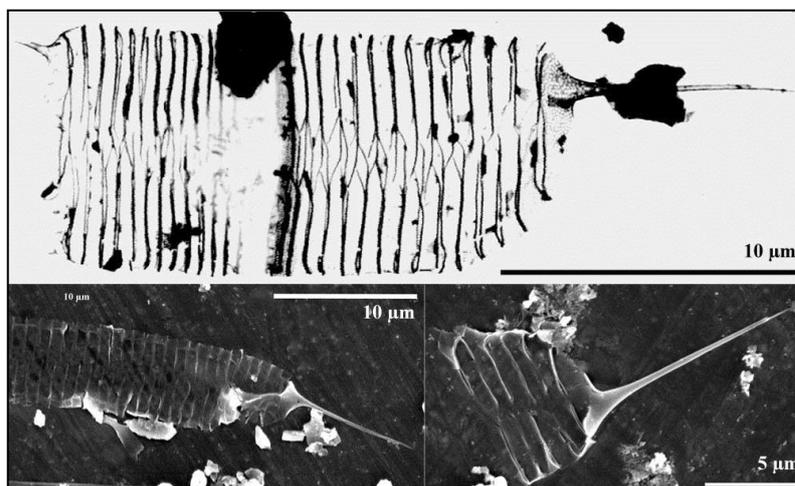


Рис. 2 – *Rhizosolenia eriensis* H.L. Smith: вверху отдельная клетка (ТЭМ, фото С.И. Генкала), внизу апикальные концы клеток (СЭМ Hitachi S-3400N).

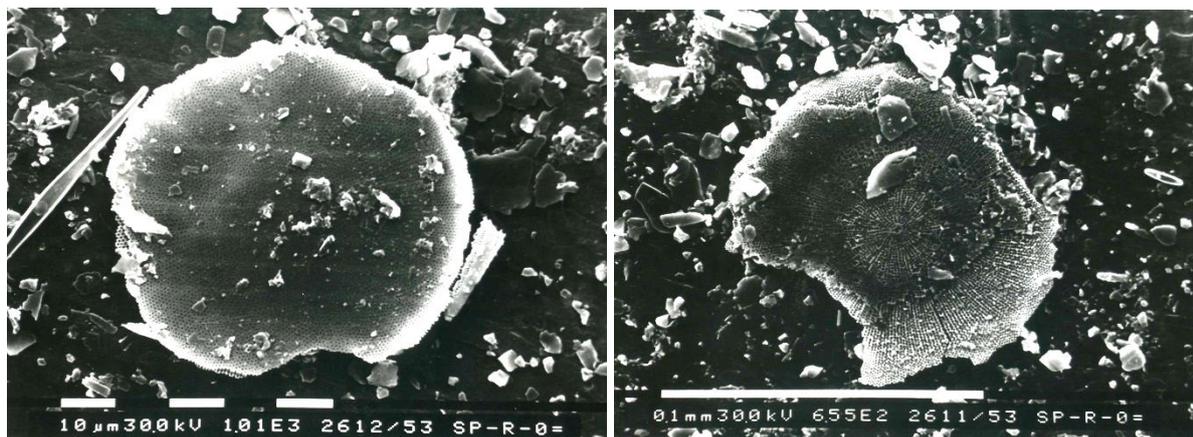


Рис. 3 – *Stephanodiscus* Ehr. (вероятно *St. grandis* Churs. et Log.) из донных отложений Телецкого озера, район устья р. Корбу

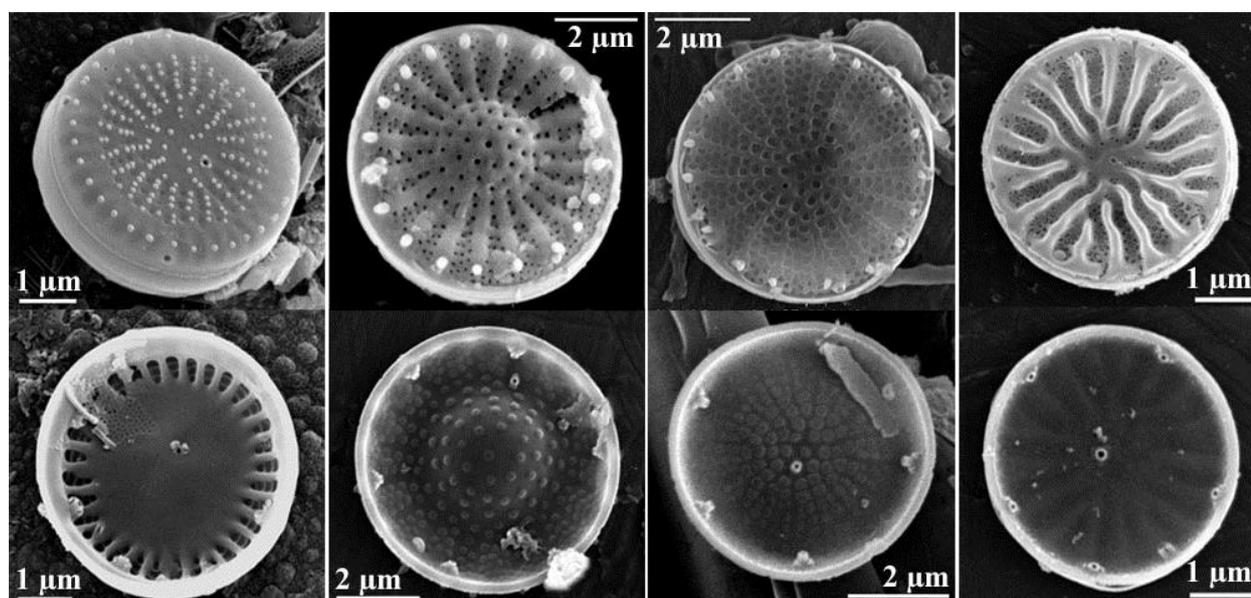


Рис. 4 – Мелкоклеточные центрические диатомеи. Слева направо: *Cyclotella delicatula* Genkal, *Stephanodiscus minutulus* (Kützing) Cleve et Möller, *S. makarovae* Genkal и *Stephanocostis chanthaicus* Genkal et Kuzmina (вверху – внешняя сторона створок, внизу – внутренняя). СЭМ Hitachi S-3400 N.

Кроме мелкоклеточных представителей планктона были получены изображения средне- и крупноразмерных центрических диатомей, а именно *Cyclotella antiqua* W.Smith, *Melosira varians* Agardh, *Stephanodiscus alpinus* Hustedt, *Cyclotella bodanica* Euleinst, *Aulacoseira subarctica* (O. Müller) Haworth – все не массовые виды, периодически обнаруживаемые в толще воды озера (рис. 5).

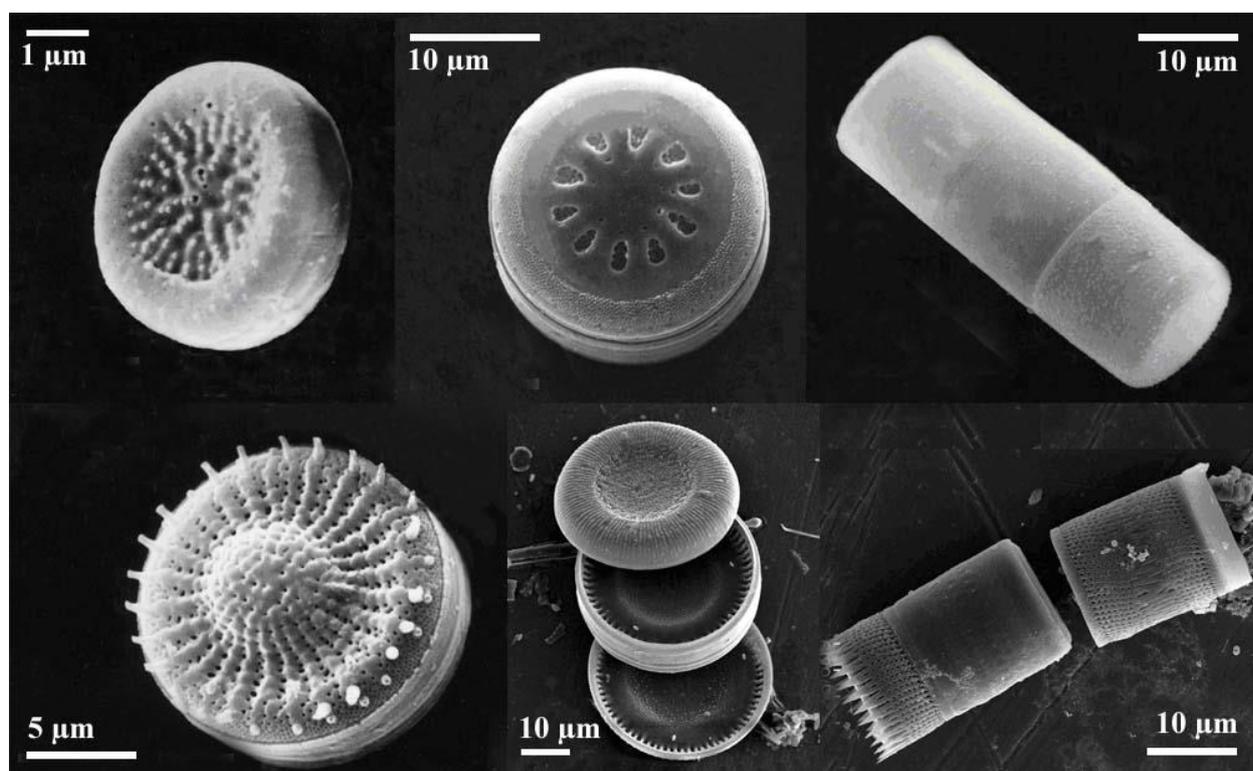


Рис. 5 – Вверху слева направо: *Cyclotella delicatula* Genkal, *C. antiqua* W.Smith, *Melosira varians* Agardh; Внизу слева направо: *Stephanodiscus alpinus* Hustedt, *Cyclotella bodanica* Euleinst, *Aulacoseira subarctica* (O. Müller) Haworth.

При изучении морфология популяций пресноводного вида *Cyclotella bodanica* var. *bodanica* из озер разного географического положения и трофности (Онежское, олиготрофно-мезотрофное; Балан-Тамур (Прибайкалье); Дальнее (Камчатка), олиготрофно-мезотрофное; Хантайской гидросистемы (Восточная Сибирь), олиготрофное; а также голоценовые осадки из озера Хотон-Нур (Монголия), олиготрофное) с помощью СЭМ (JSM-25S и Hitachi 3400N) нами был предоставлен материал по популяции данного вида в Телецком озере [3]. Было установлено, что диаметр створки в исследованных популяциях варьировал от 18,2 (оз. Дальнее) до 72,2 мкм (оз. Хотон-Нур). Минимальный размах этого признака наблюдали в Хантайской гидросистеме, озерах Балан-Тамур и Дальнем, максимальный – в озерах Телецкое и Хотон-Нур. В популяциях из озер Телецкое, Хантайское и Балан-Тамур наблюдается более выраженная радиальная волнистость центрального поля створки, чем приводится в литературных источниках, при этом в Телецком озере отмечена более сильная выпуклость-вогнутость на створках меньшего диаметра (см. рис. 5).

В пробах фитопланктона также был найден редкий для альгофлоры Телецкого озера представитель крупноклеточных центрических диатомей *Ellerbeckia arenaria* (Ralfs ex Moore) Crawf. (рис. 6). Интерес к этой диатомеи вызван тем, что данный вид относится к древним по происхождению таксонам. Ранее этот планкто-бентосный вид находили в основном в бентосе северо-западного мелководья озера на глубинах от 3-5 до 18 м. В 2010 г. створки *E. arenaria* (в основном обломки) были обнаружены в устье р. Ок-Порок на стыке широтной и меридиональной частей озера на глубине от 11 до 13,8 м.

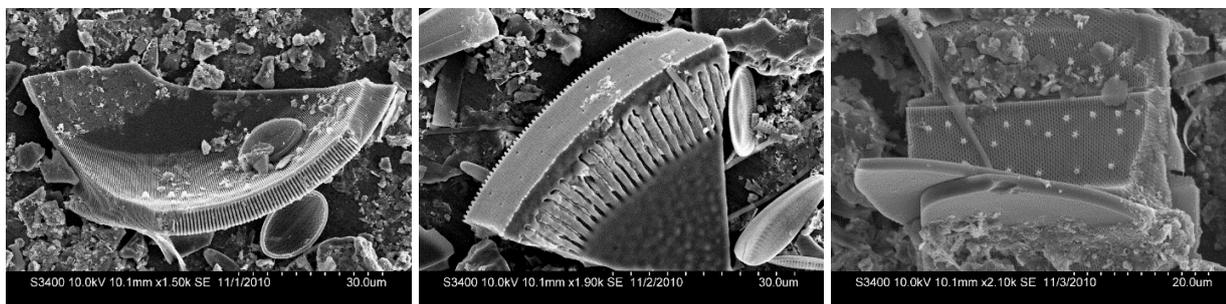


Рис. 6 – Обломки *Ellerbeckia arenaria* (Ralfs ex Moore) Crawf. в обрастаниях на камнях и искусственных субстратах в Телецком озере.

Еще более разнообразные по составу пеннатные диатомовые водоросли, шовные и бесшовные. Это в основном представители бентоса и обрастаний. Лишь единичные виды пеннатных диатомей являются планктонными обитателями, как, например, звездчатые колонии *Asterionella formosa* Nass., способные «парить» в толще воды, так как такой способ соединения клеток в колонии увеличивает плавучесть и противостоит быстрому осадению их на дно (рис. 7).

Пеннатные диатомеи. Наибольшим разнообразием среди пеннатных диатомей отличаются представители шовных, т.е. те, у которых на створке, одной или сразу двух, имеется шов, простирающийся по всей длине клетки. Многие из них обитают на дне водоема и могут медленно, но передвигаться по субстрату за счет тока цитоплазмы в канале шва. Именно таким, например, считается предназначение шва у диатомей родов *Brachysira* и *Geissleria*. Многие пеннатные формы могут прикрепляться к субстрату посредством слизистых тяжей (представители рода *Gomphonema*) или

обитать внутри слизистых трубок, прикрепленных к камням или другим подводным предметам, например, виды рода *Cymbella*. Есть и просто неподвижные формы, которые как накипные лишайники «прилипают» к субстрату. Такими свойствами обладают виды рода *Cocconeis* (рис. 8). Среди пеннатных диатомей встречаются как одни из самых мелких представителей кремнезёмок, так и очень крупные экземпляры – 300-400 мкм. Встречаются водоросли с овальными, ромбовидными, прямоугольными, гантелевидными, булавовидными, гитароподобными и другими формами створок. Со стороны пояска панцирь может иметь, как прямоугольный, трапециевидный, так прямой и изогнутый вид. Соотношение длины и ширины у створок бывает незначительное, но есть виды, у которых длина превосходит ширину в десятки раз. Все это многообразие можно встретить в фитопланктоне Телецкого озера. Но, несмотря на такое богатство по составу, пеннатные формы в фитопланктоне озера не преобладают по количеству, но часто вносят основной вклад в биомассу фитопланктона.

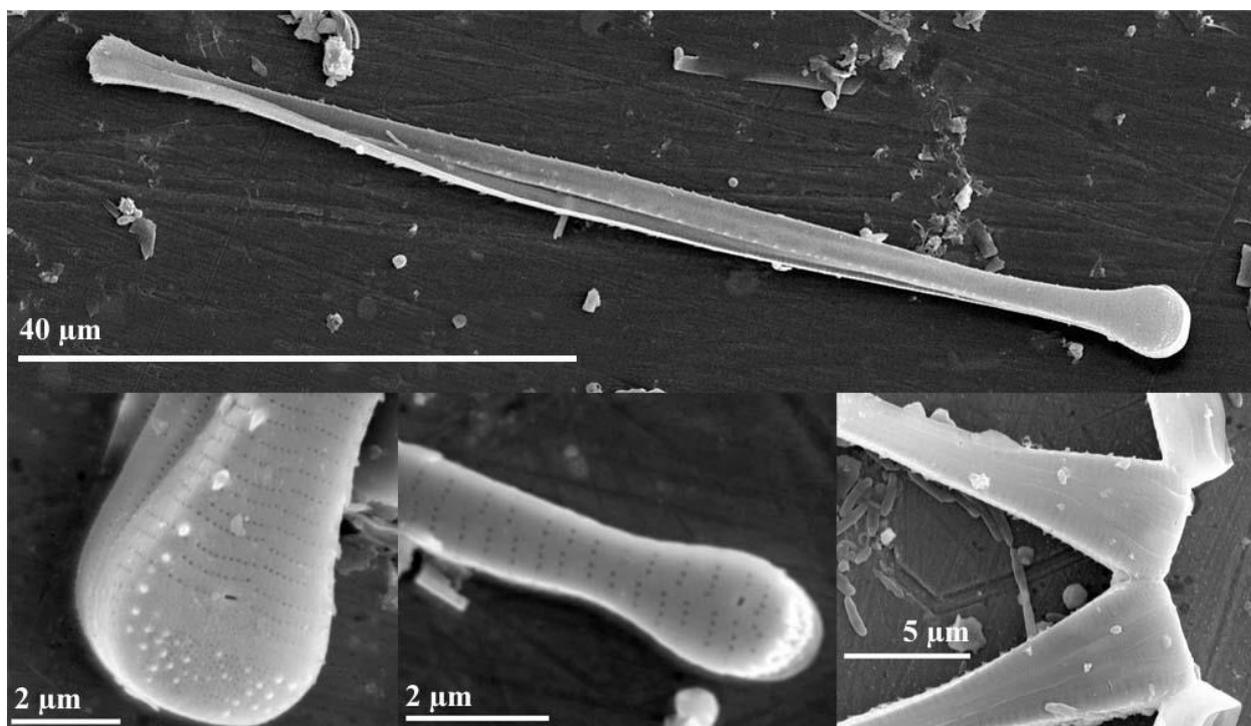


Рис. 7. *Asterionella formosa* Hass.: отдельная клетка (вверху), апикальные концы клетки (внизу слева и в центре) и соединение клеток в звездчатые колонии (внизу справа).

К числу малораспространенных для данного водоема относится пеннатная диатомея *Nupela neogracillima* Kulikovskiy & Lange-Bertalot (рис.

9), которая была обнаружена в обрастаниях на камнях с глубины 13,8 м, отобранных водолазами около устья р. Ок-Порок (восточнее пос. Яйлю) в июле 2010 г. [10]. Этот вид предпочитает олиготрофные водоемы в арктической и бореальной областях, к каким относится Телецкое озеро.

Среди диатомовых водорослей Телецкого озера были изучены аномалии в строении их панцирей (рис. 10). Образованию таких тератологических (уродливых) форм более подвержены пеннатные диатомеи, в основном обитатели дна и обрастаний. Это своеобразный отклик водорослей на воздействие каких-либо неблагоприятных факторов среды. В Телецком озере такие формы выявлены в наиболее посещаемых туристами местах (водопад Корбу в центральной части озера, многочисленные турбазы и кемпинги северо-западной части озера, Каменный залив), на что, вероятно, могут влиять более высокие концентрации биогенов. На юге озера, в устье р. Чулышман, появление тератоформ может быть обусловлено повышенным природным геохимическим фоном, определяемым наличием в бассейне озера ряда мелких проявлений сульфидных и окисленных руд в форме малахитовой минерализации [8].

Интересным сообществом можно считать таковое водорослей-обрастателей, например, на макрофитах. Был исследован состав диатомей в обрастаниях на листьях рдеста пронзеннолистного (*Potamogeton perfoliatus* L.), собранного в двух крупных заливах Телецкого озера Камгинском и Кыгинском, где отмечены большие по площади заросли этого макрофита [7]. Установлено, что в большем по площади Камгинском заливе с более сглаженным влиянием волно-прибойной деятельности состав диатомей на листьях рдеста разнообразнее, чем в Кыгинском, где влияние пелагиали ощутимее.

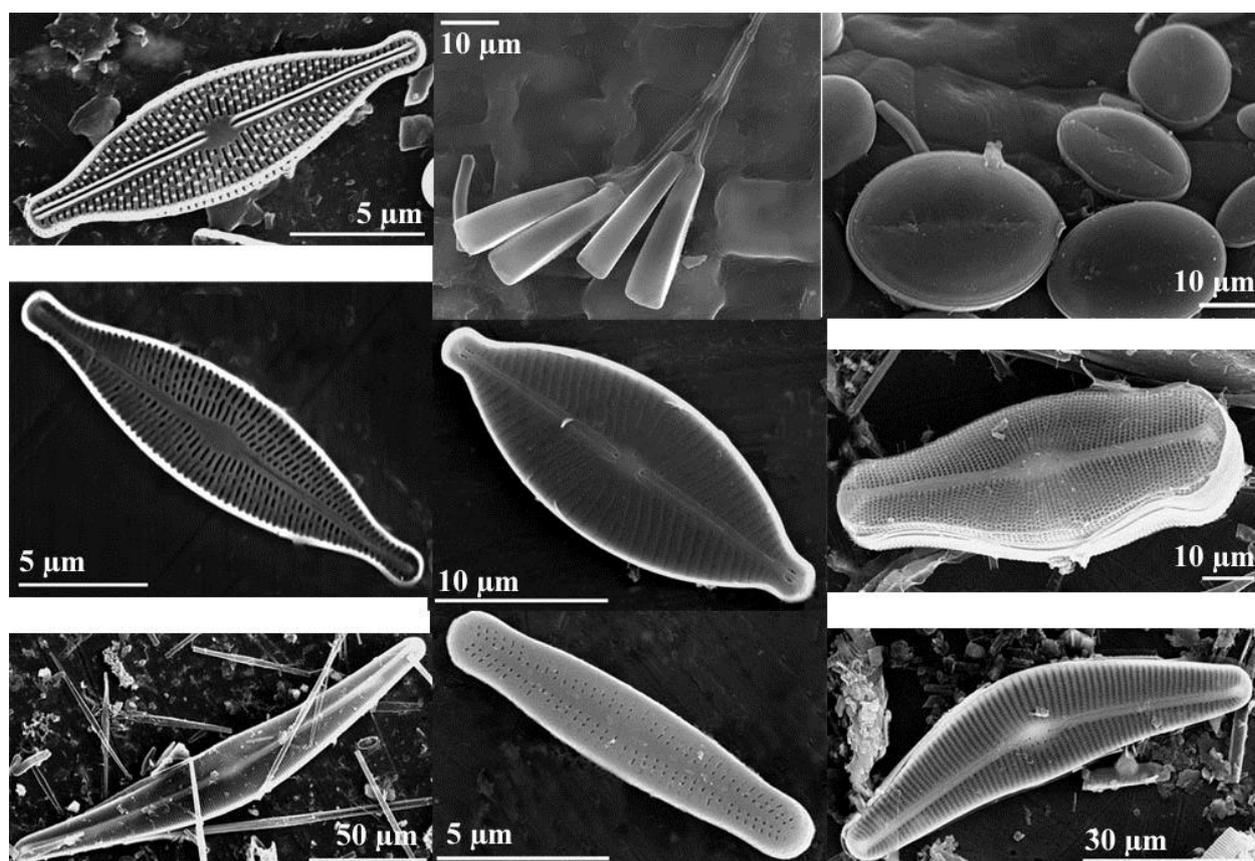


Рис. 8 – Вверху, слева направо: *Brachysira microcephala* (Grunow) Compère (внешний вид створки), представители р. *Gomphonema* на слизистых тяжах, *Cocconeis placentula* Ehrenberg; посередине слева направо: *B. microcephala* (внутренний вид створки), *Geissleria tingvallae* (Østrup) Lange-Bertalot & Metzeltin, *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) M. Schmidt; внизу слева направо: *Cymbella lanceolata* (C. Agardh) C. Agardh, *Achnanthisdium minutissimum* (Kützing) Czarnecki, *Cymbella cistula* (Ehrenberg) Kirchner

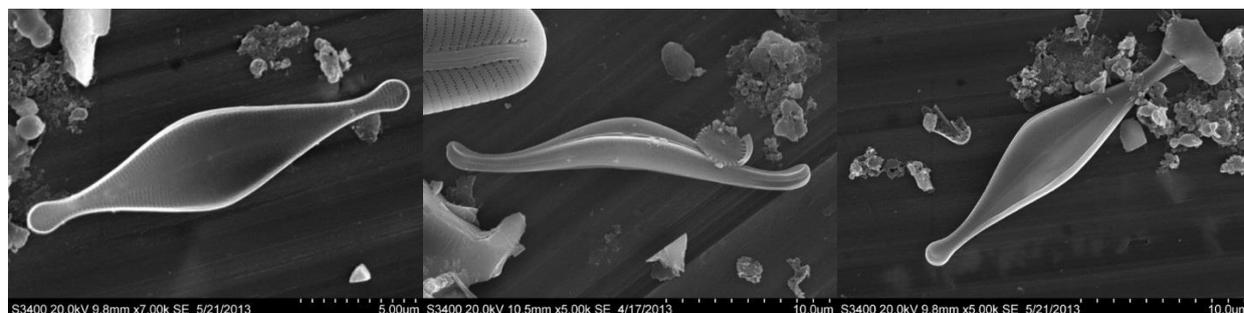


Рис. 9 – *Nupela neogracillima* Kulikovskiy & Lange-Bertalot в обрастаниях на камнях и искусственных субстратах в Телецком озере

Закключение. Исследование диатомовых водорослей Телецкого озера методами электронной микроскопии позволило пополнить общий список диатомовых водорослей, описать новый для науки вид, выявить новые и редкие для альгофлоры озера виды, расширить список доминантов фитопланктона по численности, выявить тератоформы.

Новые и интересные находки еще впереди... Автор признателен н.с. А.В. Дьяченко (ЛГиГ ИВЭП СО РАН) за помощь при работе на СЭМ Hitachi S-3400N.

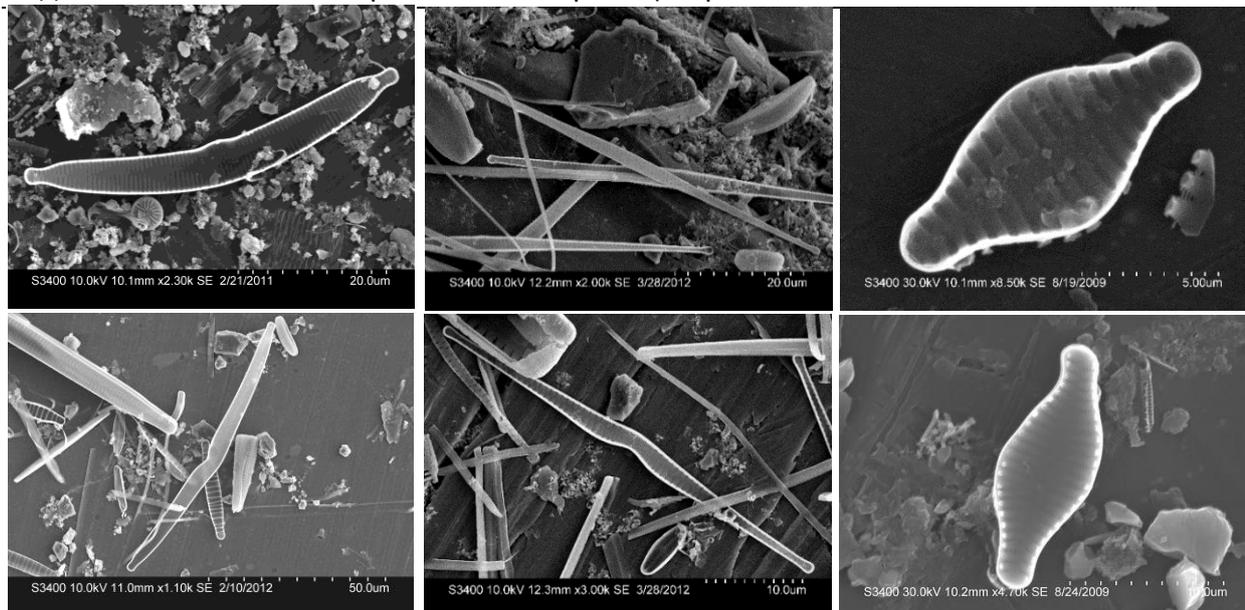


Рис. 10 – Нормальные (вверху) и уродливые (тератологические, внизу) формы диатомовых водорослей: слева направо

Литература

1. Генкал С.И. О новом для науки представителе диатомовых водорослей из оз. Телецкое // Биология внутренних вод: Информ. бюлл. – 1994. – № 97. – С. 3-8.
2. Генкал С.И., Митрофанова Е.Ю. Материалы к флоре Bacillariophyta Телецкого озера (Алтайский край, Россия) // Альгология. – 1995. – Т. 5., № 4. – С. 375-377.
3. Генкал С.И., Митрофанова Е.Ю., Куликовский М.С. Морфологическая изменчивость, таксономия и распространение *Cyclotella bodanica* (Bacillariophyta) в России // Биология внутренних вод. – 2013. – № 2. – С. 3-15.
4. Калугин И., Бобров В., Воробьева С., Кривоногов С., Селегей В., Щербов Б., Клеркс Ж., Вартель С. Осадконакопление в Телецком озере и проблема палеоклиматических реконструкций // Проблемы реконструкции климата и природной среды плейстоцена и голоцена Сибири. – Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 1998. – С. 209-221.
5. Кириллов В.В., Скабичевская Н.А., Митрофанова Е.Ю., Кириллова Т.В., Ким Г.В. Палеоэкологические сигналы альгоценозов экосистем озер и их водосборных бассейнов // Проблемы реконструкции климата и природной среды голоцена и плейстоцена Сибири. - Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 1998. – С. 222-233.
6. Митрофанова Е.Ю. Разнообразие центральных диатомовых водорослей в фитопланктоне как один из факторов и индикаторов устойчивости экосистемы глубокого олиготрофного озера (на примере оз. Телецкое, Горный Алтай, Россия) // Экология. – 2011. – № 3. – С. 233-236.
7. Митрофанова Е.Ю., Генкал С.И. Состав диатомоценозов на рдесте пронзеннолистном при различных гидродинамических условиях в литорали Телецкого озера (Горный Алтай) // Альгология. – 2015. – Т. 25, № 2. – С. 185-197.
8. Митрофанова Е.Ю., Третьякова Е.И. Тератологические формы диатомовых водорослей в альгофлоре Телецкого озера // Химия: вода и экология. – 2013. – № 10. – С. 112-119.
9. https://ru.wikipedia.org/wiki/Электронный_микроскоп – электронный ресурс, 28.06.2017.
10. Mitrofanova E.Yu., Genkal S.I. A noteworthy finding of rare species *Nupela neograccillima* (Bacillariophyta) in Lake Teletskoye (Russian Altai) // Algological Studies. – 2013. – Vol. 143. – P. 43-49.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПРОТОК ДЕЛЬТЫ РЕКИ СЕЛЕНГИ

Павлов И.А.¹, Ширеторова В.Г.¹, Раднаева Л.Д.^{1,2}

¹ Байкальский институт природопользования СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия

² Бурятский государственный университет, г. Улан-Удэ, Россия

e-mail: pavlov.binm@gmail.com

Аннотация. Получены данные по межгодовой и сезонной динамике концентрации элементов Al, Fe, Mn, Zn, Cu, Cr, Ni, Mo, Cd и Pb в воде проток дельты р. Селенга. В 2016 г. в поверхностных водах дельты, как и в предшествующем 2015 г. отмечались высокие значения содержания меди практически во все сезоны и превышали значения ПДК в 5-12 раз. Межгодовая динамика содержания цинка в период открытого русла 2013-2016 гг. показала, увеличение его концентраций. Во внутригодовом аспекте меньшее загрязнение воды тяжелыми металлами отмечается в весенне-летний период. Сравнительный анализ накопления микроэлементов в донных отложениях показал относительно стабильное содержание данных элементов в межгодовом аспекте во всех протоках и наибольшее накопление в протоках центральной части.

Ключевые слова: дельта, тяжелые металлы, река Селенга.

COMPARATIVE ANALYSIS OF MICROELEMENT COMPOSITION OF BRANCHES OF THE SELENGA DELTA

Pavlov I.A.¹, Shiretorova V.G.¹, Radnaeva L.D.^{1,2}

¹ *Baikal Institute of Nature Management SB RAS, Ulan-Ude, Russia*

² *Buryat State University, Ulan-Ude, Russia*

e-mail: pavlov.binm@gmail.com

Abstract. The data on the interannual and seasonal dynamics of the concentrations of Al, Fe, Mn, Zn, Cu, Cr, Ni, Mo, Cd and Pb in the branches of the Selenga river delta are obtained. In 2015-2016, high content of copper was observed in almost all seasons and was more than MPC by a factor of 5-12. The inter-annual dynamics of zinc content during the open water period of 2013-2016 showed an increase in its concentrations. The annual water pollution by heavy metals was less in spring and summer. A comparative analysis of the inter-annual accumulation of trace elements in bottom sediments showed a relatively constant content of these elements in all the branches; the most substantial accumulation was found in branches of the central part.

Keywords: delta, heavy metals, the Selenga River.

К числу объектов, в центральной зоне Байкальской природной территории, требующих особого внимания является экосистема р. Селенга. Река Селенга – крупнейший приток озера Байкала, оказывающий заметное влияние на гидрохимический состав воды, несущий до 50% водного и более 50% химического стока. Несмотря на значительный объем научных и прикладных исследований рек бассейна озера Байкала, река Селенга и ее дельта остаются важнейшими объектами исследования, в которых наблюдаются сезонные изменения микроэлементного состава поверхностных вод и донных отложений.

Дельты рек представляют собой переходную область между двумя граничащими экосистемами – рекой и озером. Это особое природное образование, где органический и биогенный сток трансформируется качественно и количественно вследствие интенсивного биотического

круговорота. Очищающая роль дельты максимальна в период открытой воды и минимальна зимой, так как важными аккумуляторами и трансформаторами химических веществ являются погруженная водная растительность, фитопланктон и фитобентос [3]. Дельта р. Селенги занимает обширную территорию и в разных источниках оценивается от 546 до 5000 км² [2]. В данной работе за начало дельты принято место разделения реки на два наиболее крупных рукава в 34 км от устья. Основные протоки дельты можно разделить на три группы – южную, среднюю и северную. Северную группу представляют протоки Лобановская, Дологан и Северная, среднюю – Галутай, Колпинная и Средняя, южную – Левобережная, Шаманка и Харауз. Наиболее крупные из них – Левобережная, Харауз и Лобановская, по которым проходит до 80% водного стока в весенне–осенний период и 99% зимой. Мелкие протоки (Галутай, Колпинная, Средняя, Северная) зимой чаще всего в верхнем течении перемерзают [5]. Помимо перечисленных, дельта включает множество других проток, озер, стариц, создающих сложную гидрографическую систему.

Данные многолетних исследований дельты р. Селенга, показали, что изменение гидрологических условий в значительной степени определяет динамику концентраций химических компонентов в реке и протоках ее дельты [7]. Маловодный период, продолжающийся с 1996 г., сохранялся и в течение 2013-2015 гг. При этом за счет увеличения стока в августе – сентябре 2013 г. оказался достаточно близким к средней водности, тогда как 2014 г. и особенно 2015 г. были крайне маловодными [6]

Отбор проб воды проводился на реперных станциях в нижнем течении р. Селенги и протоках дельты (рис.1), пробы фильтровали через мембранный фильтр с диаметром пор 0,45 мкм, затем консервировали концентрированной азотной кислотой. Содержание Al, Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni, Mo, As определяли атомно-эмиссионным методом на спектрометре Profile Plus производства Teledyne, США. Пробы донных отложений отбирали с помощью дночерпателя Петерсона, помещали в двойные полиэтиленовые пакеты, далее разложение проб проводили по стандартной методике разложения [1].

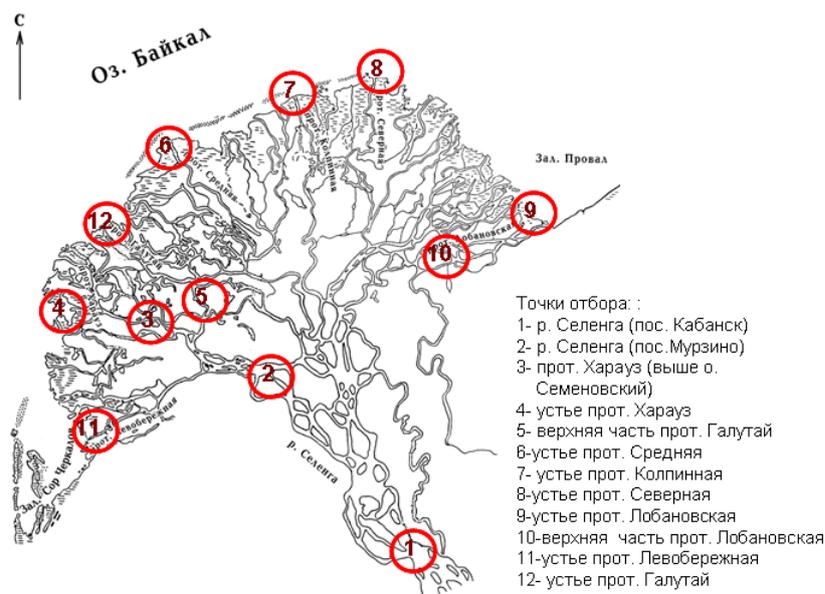


Рис. 1 – Карта-схема отбора проб в дельте р. Селенга

Сезонная динамика концентраций металлов Al, Fe, Mn, Zn, Cu, Cr, Ni, Mo, Cd и Pb в воде по результатам исследований в 2016 году представлена на рис. 2. В 2016 г. в поверхностных водах дельты р. Селенги, как и в предшествующем 2015 г. отмечались высокие значения содержания меди практически во все сезоны и превышали значения ПДК в 5-12 раз. В пробах воды, отобранных в весеннее половодье 2016 г., наблюдается пониженное содержание компонентов за счет разбавления талыми водами. В осенний период происходит увеличение концентрации основных компонентов из-за отмирания водной растительности, что приводит к высвобождению микроэлементов.

Содержание железа в 2016 г. (рис. 3) варьировало в пределах 0,01-0,25 мг/дм³, в целом по всем протокам фиксировали превышение значений ПДК в весенний период, за исключением протоки Средняя, в которой наблюдалось превышение ПДК в зимний и весенний периоды. По данным предыдущих исследований [4] в протоках центральной части дельты также отмечалось высокое содержание железа и марганца в протоке Средняя. Содержание железа в пробах поверхностной воды основных протоков, в период весеннего половодья выше, чем в летний период, что объясняется поступлением загрязнения с водосборной площади.

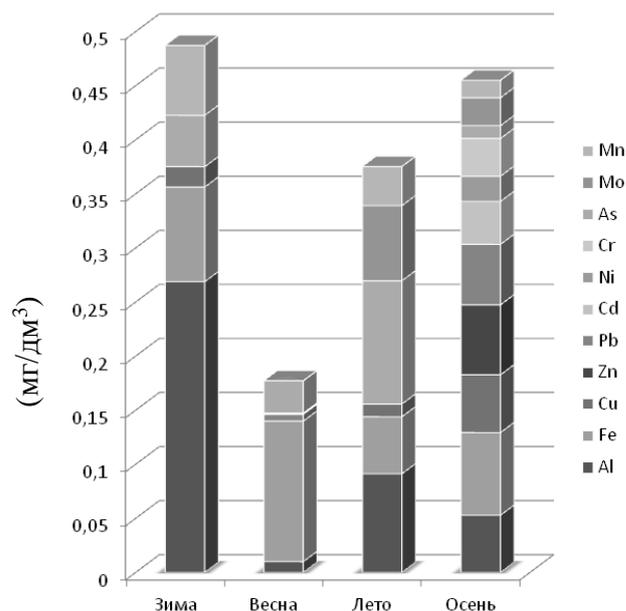


Рис. 2 – Сезонная динамика суммы элементов в поверхностной воде дельты р. Селенга

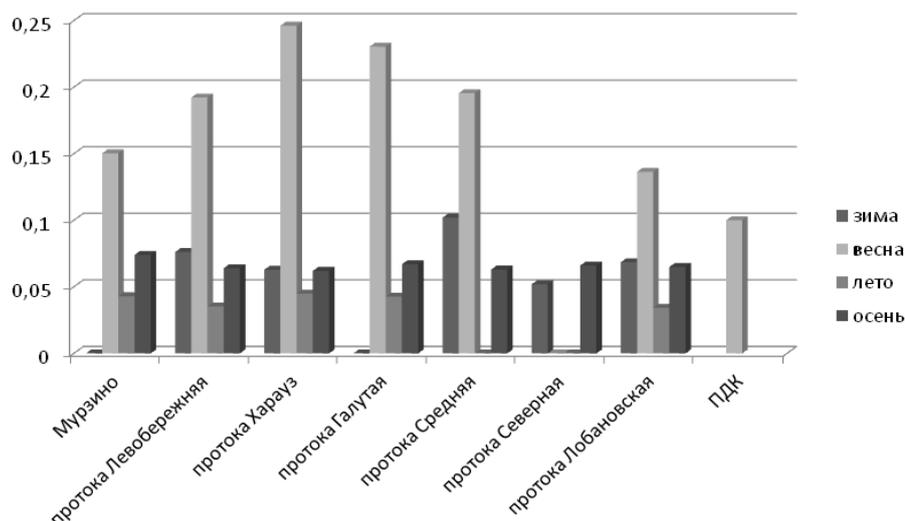


Рис. 3 – Содержание железа в поверхностных водах протоков дельты р. Селенга (мг/дм³) в 2016 г.

Стабильно высокие значения концентрации марганца наблюдались и в протоке Средняя. Это характерно для заболоченной местности и связано с поступлением из донных отложений. В летне-осенний периоды содержание марганца постепенно снижалось.

В 2015-16 гг. в поверхностных водах дельты р. Селенги, отмечались высокие значения содержания цинка практически во все сезоны (до 5-12 ПДК). Межгодовая динамика содержания цинка в период открытого русла 2013-2016 гг. показала, увеличение концентраций цинка в сравнении с 2013 годом до 7-8 ПДК в 2014 г. и 5-12 ПДК в 2015-16 гг.

Повышенное содержание меди в поверхностных водах протоков дельты р. Селенги в 2016 г. наблюдалось в осенний период и незначительно

превышало значения ПДК до 1,3 раза в протоках Средняя и у с. Мурзино, в остальные периоды концентрации меди были значительно ниже.

Также нами были проведены исследования донных отложений на тяжелые металлы в разные сезоны года, которые показали высокое содержание ТМ в зимний период по всем элементам, что свидетельствует об осаждении металлов в условиях замедленного стока. Сравнение содержания металлов в донных отложениях с кларками почв не подверженных антропогенному воздействию [4] показало превышение фоновых значений в зимний период, в то время как в период открытой воды концентрации ТМ находятся ниже фоновых. Уменьшение содержания ТМ в донных отложениях в период открытого русла связано с их переносом и распределением взвешенными веществами в поверхностной воде, что согласуется с предыдущими многолетними данными.

Наибольшее содержание цинка и меди в донных отложениях отмечались в протоках Харауз устье, Средняя и Северная (рис. 5). Сравнительный анализ накопления железа и марганца (рис. 4) в образцах донных отложений показал относительно стабильное содержание данных элементов по всем протокам дельты р. Селенги в межгодовом аспекте, наибольшее количество отмечалось в протоках центральной части.

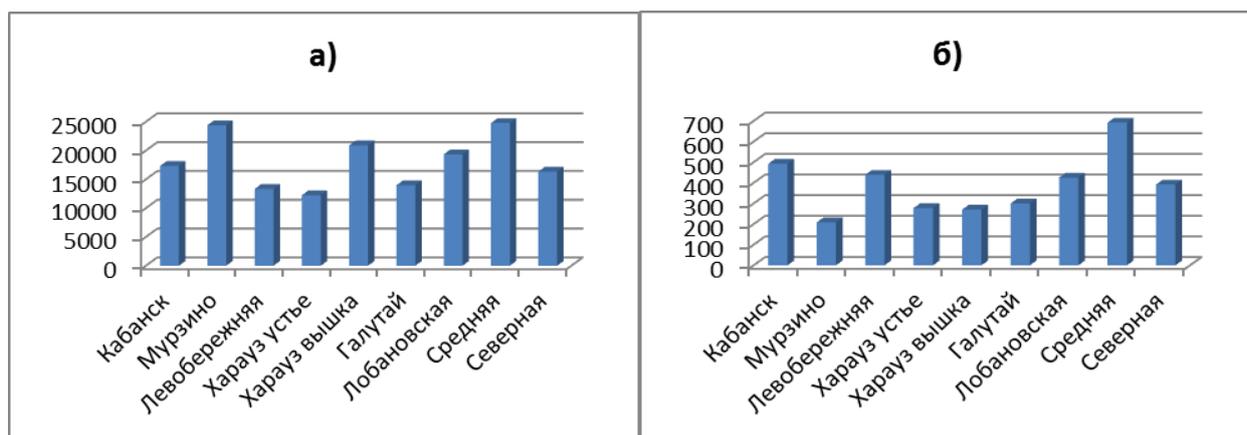


Рис. 4 – Содержание железа (а) и марганца (б) в донных отложениях, мг/кг

Таким образом, в 2016 году нами были определены 11 элементов в поверхностных водах и донных отложениях проток дельты р. Селенга. В значительных количествах фиксировались такие элементы как железо, марганец, алюминий, свинец, цинк и медь, остальные элементы находились на уровне предела обнаружения.

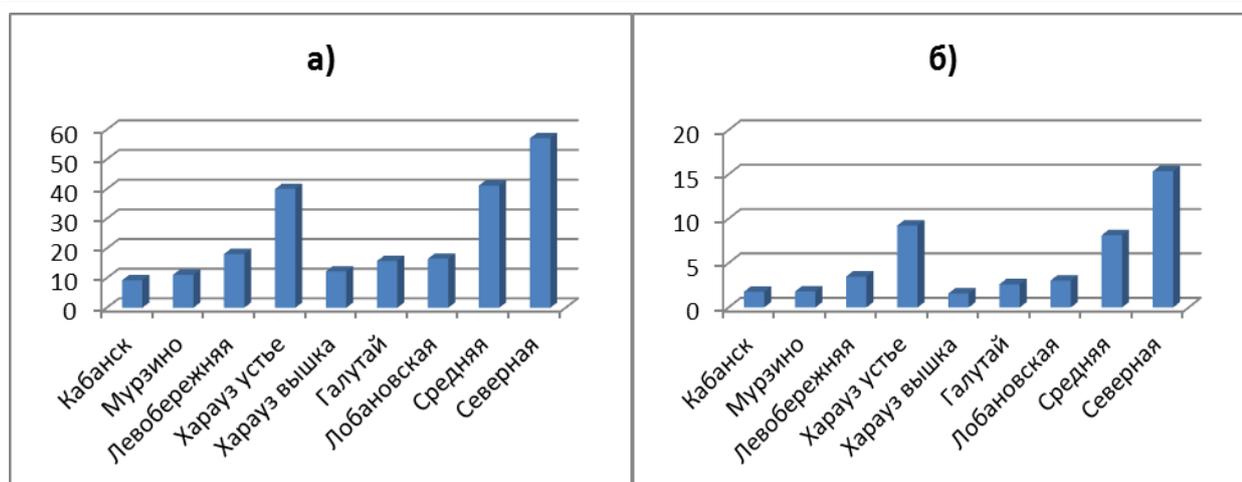


Рис. 5 – Содержание цинка (а) и меди (б) в донных отложениях, мг/кг

Проведенные исследования показали, что содержание тяжелых металлов в воде, в основном определяется условиями водного режима в протоках дельты, где наибольшие концентрации элементов фиксировались в центральной части. Во внутригодовом аспекте меньшее загрязнение воды тяжелыми металлами отмечается в весенне-летний период. Результаты анализа содержания тяжелых металлов в донных отложениях основных протоков дельты р. Селенги, показали, что содержание элементов в период открытого русла находится ниже основных фоновых показателей кларков почв для пресноводных водоемов. Повышенное содержание ТМ в зимний период по всем элементам обусловлено их осаждением в условиях замедленного стока.

Литература

1. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. 2-е изд. – М.: МГУ, 1970. – 488с.
2. Байкал. Атлас. – М.: Роскартография, 1993. – 159 с.
3. Максимова М.П., Елецкий Б.Д., Метревели М.П. Круговорот органического вещества и биогенных элементов в водоемах и водотоках дельты Волги // V Всесоюз. Лимнологическое совещания «Круговорот вещества и энергии в водоемах». Иркутск. – 1981. – Ч. 5. – С. 93-95.
4. Папина Т.С. Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в речных экосистемах // Аналитический обзор, серия «Экология». Вып.62. – Новосибирск, 2001. – 57 с.
5. Синюкович В.Н., Жарикова Н.Г., Жариков В.Д. Сток реки Селенги в ее дельте // География и природные ресурсы. – 2004. – № 3. – С. 64-69.
6. Сороковикова Л.М., Синюкович В.Н., Томберг И.В. и др. Состояние водной экосистемы дельты реки Селенги в условиях длительного маловодья // География и природные ресурсы. – 2017. – №1. – С. 81-89.
7. Урбазаева С.Д., Хажеева З.И., Раднаева Л.Д. и др. Основные формы миграции и распределение тяжелых металлов в воде, на взвесах и в донных отложениях проток дельты р. Селенга // Инженерная экология. – 2012. – №4. – С. 36-41.

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ СБРОСА ВОДЫ ЧЕРЕЗ ПЛОТИНУ ГЭС НА ДИНАМИКУ ФИТОПЛАНКТОНА В НИЖНЕМ БЬЕФЕ КРАСНОЯРСКОГО ГИДРОУЗЛА

Пономарева Ю.А.¹, Прокопкин И.Г.², Белоліпецкий П.В.^{1,2}

¹ *Институт вычислительного моделирования СО РАН, г. Красноярск, Россия*

² *Институт биофизики, г. Красноярск, Россия*

e-mail:ponomarevayulia@mail.ru

Аннотация. В результате многолетних натурных наблюдений определены факты влияния повышенной скорости сброса воды через шлюзы плотины Красноярской ГЭС на динамику фитопланктона р. Енисей ниже плотины. Высказано предположение, что механизм влияния данного фактора заключается в следующем: повышенный сброс воды изменяет температуру воды реки в нижнем бьефе, что в свою очередь влияет на динамику численности фитопланктона. Справедливость данного предположения подтверждается данными 2008-2016 гг. Полученные результаты могут быть применены для составления прогнозов динамики фитопланктона в нижнем бьефе в следующие временные периоды.

Ключевые слова: фитопланктон, нижний бьеф, р. Енисей, температура воды

INFLUENCE OF KRASNOYARSK HYDROPOWER STATION DISCHARGE RATE ON DYNAMICS OF PHYTOPLANKTON POPULATION DOWNSTREAM THE DAM

Ponomareva Y.A.1, Prokopkin I.G.2, Belolipetsky P.V.1,2

¹ *Institute of Computational Modelling SB RAS, Krasnoyarsk, Russia*

² *Institute of Biophysics SB RAS, Krasnoyarsk, Russia*

e-mail:ponomarevayulia@mail.ru

Abstract. Using multiyear measurements, we investigated the influence of high flow rates at Krasnoyarsk hydropower station (Krasnoyarsk HPS) on the phytoplankton population of Yenisei River downstream the dam. We propose the hypothesis that flow rate variations change water temperature, which is influencing the phytoplankton dynamics. This hypothesis is verified by measurements conducted in 2008-2016. The results obtained can be used for the forecast of phytoplankton dynamics downstream the dam.

Keywords: phytoplankton, lower reach, the Yenisei River, water temperature

Введение

Перекрытие рек плотинами ГЭС приводит к коренным гидрологическим и гидрохимическим изменениям, а также глубоко нарушает естественный ход гидробиологических процессов и определяет формирование биоты вновь созданного водного объекта [5, 7]. При этом изменяется и существенная её компонента – фитопланктон, являющийся первичным продуцентом водной экосистемы [5]. На распространение фитопланктона в толще воды оказывает влияние комплекс факторов. В зарегулированных реках к таким факторам относятся: высокая скорость течения реки, турбулентность, температура воды и т.д. Мы предполагаем, что скорость сброса воды через плотину ГЭС также может быть важным фактором, влияющим на фитопланктонное сообщество в зарегулированной реке.

В настоящее время накоплен обширный натурный материал, касающийся альгофлоры разных участков р. Енисей как до момента зарегулирования русла в 1967 г. в верхнем течении реки, так и после, который позволяет проследить развитие фитопланктона нижнего бьефа Красноярской ГЭС [1, 4, 6]. На основе данных некоторых авторов проведена сравнительная характеристика фитопланктона разных рек и выявлены основные тенденции долговременных изменений [2]. В тоже время исследование влияния гидрологических факторов на микроводоросли в условиях зарегулирования стока требует проведения непрерывных наблюдений за динамикой основных параметров среды и ответной реакцией фитопланктона.

Цель данной работы – выявить факты влияния скорости сброса воды через плотину на динамику фитопланктона в нижнем бьефе Красноярской ГЭС и определить возможные механизмы этого влияния.

Материалы и методы исследования

Материалом для работы послужили проведенные авторами сборы фитопланктона в 2008–2016 гг. Пробы собирали ежедневно на расстоянии 34 км ниже Красноярской ГЭС в пределах г. Красноярск. Процедура сбора и обработки материала соответствовала стандартным гидробиологическим методам, которые более подробно рассмотрены в работе [3]. Просмотр и вычисление количества живых и мертвых клеток фитопланктона вели под люминесцентным микроскопом «МИКМЕД-2». Наряду с исследованием водорослей проводили измерение температуры воды. Данные по скорости сброса воды через плотину ГЭС предоставлены территориальными органами, осуществляющими мониторинг водных объектов.

Статистическую обработку данных проводили с использованием компьютерной программы Statistica 6.0 (StatSoftInc.). Для определения статистической связи между исследуемыми параметрами использовали коэффициент корреляции Пирсона.

Результаты исследования и обсуждение

Анализ натуральных данных за 2008-2016 гг. показывает, что в течение осени и зимы численность живых клеток фитопланктона минимальна. Как правило, пик численности, продолжительностью 1-2 недели, отмечается в начале лета (в июне). Именно это показывают данные 2008, 2009, 2011 и 2012 гг. Исключение составляют 2014 и 2016 гг., когда пик численности живых клеток фитопланктона наблюдается весной – в конце апреля-начале мая (рис. 1, 2).

Максимальные значения температуры воды в р. Енисей складываются во второй половине летнего сезона и в начале осени и достигают значений 12-13 °С. В течение зимы температура воды снижается до значений 2-4 °С. С конца весны начинается медленное прогревание воды, наибольший рост температуры обычно происходит в начале летнего сезона, когда в течение июня значения могут вырасти на несколько градусов (см. рис. 1, 2).

Скорость сброса воды через плотину Красноярской ГЭС в течение года обычно не превышает 3500 м³/с. Исключения составляют отдельные события, когда скорость сброса была значительно выше, например, в конце весны 2009 г., в начале лета 2010 г. и во второй половине весны 2014 г. (см. рис. 1, 2).

Первое, что стоит отметить – несовпадение времен формирования пиков численности живых клеток фитопланктона и температуры воды. Исходя из данных, полученных непосредственно перед пиком численности живых клеток фитопланктона и в момент его формирования, можно предположить, что оптимальные для роста фитопланктона значения температуры воды лежат в диапазоне 5–7 °С. Поскольку, такая температура в реке удерживается непродолжительное время, то, по-видимому, именно по этой причине пик численности кратковременен.

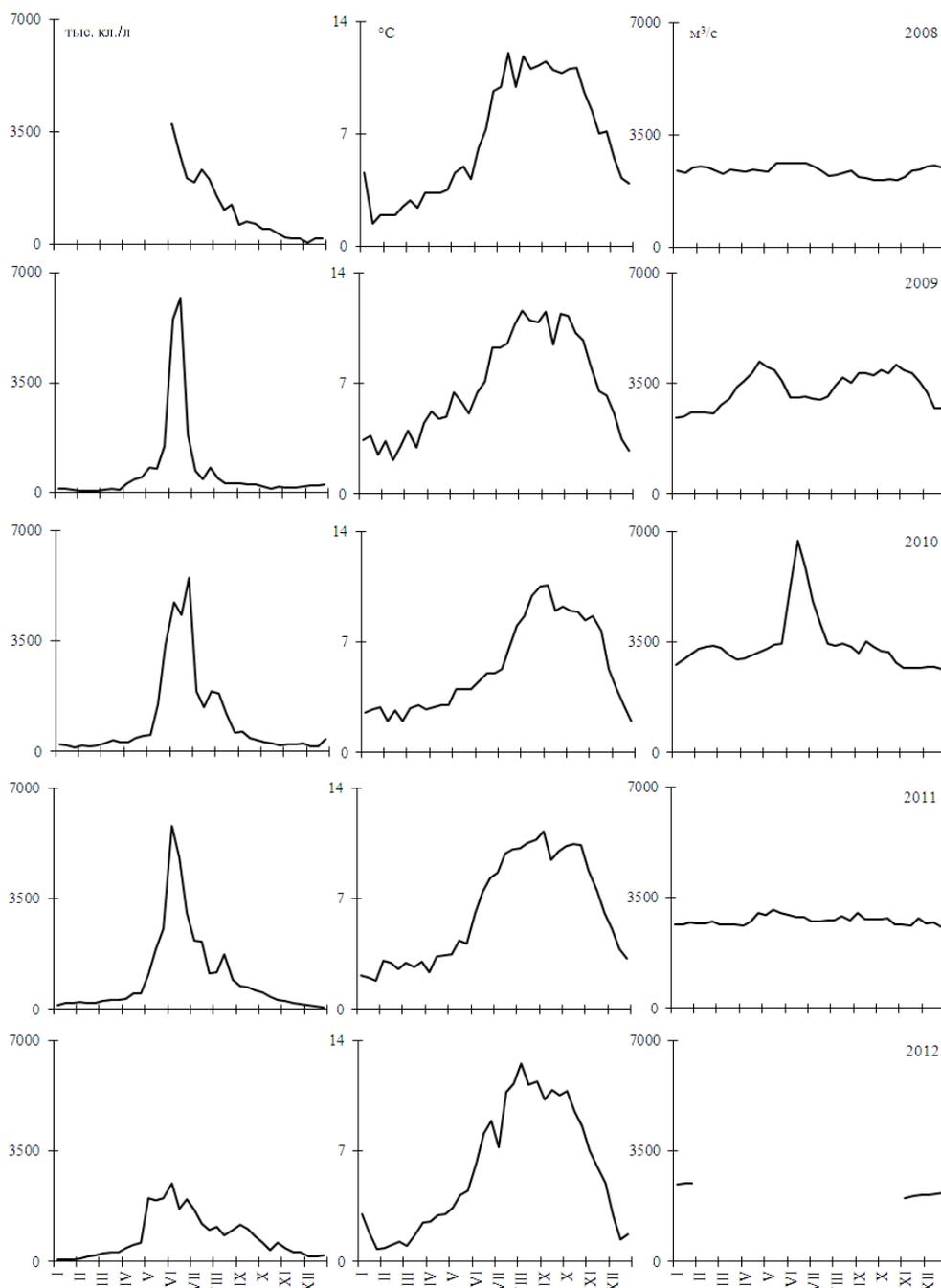


Рис. 1 – Данные натурных наблюдений за 2008-2012 гг.: левый столбец – концентрация живых клеток фитопланктона (тыс. кл./л); столбец по середине – температура воды р. Енисей (°C); правый столбец – скорость сброса воды через плотину Красноярской ГЭС ($\text{м}^3/\text{с}$)

Для выявления возможной связи между температурой воды и численностью фитопланктона был проведен корреляционный анализ. Для всех лет рассмотрены периоды второй половины весны – середина лета, потому что в это время численность клеток фитопланктона достигает максимальных значений, и закономерности их динамики проявляются в наибольшей степени.

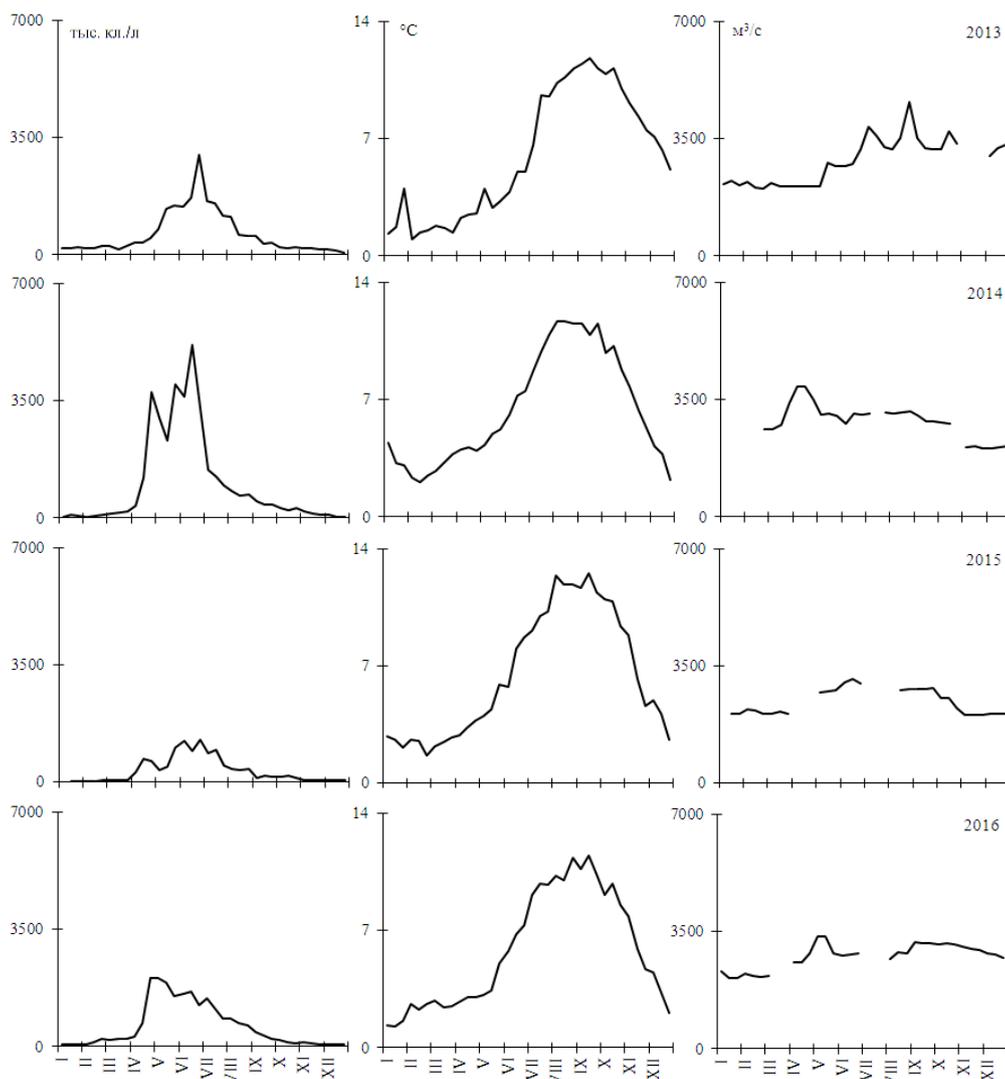


Рис. 2. – Данные натурных наблюдений за 2013-2016 гг.: левый столбец – концентрация живых клеток фитопланктона (тыс. кл./л); столбец по середине – температура воды р. Енисей (°C); правый столбец – скорость сброса воды через плотину Красноярской ГЭС (м³/с)

Для периодов непосредственно перед формированием пика обнаружена статистически значимая положительная корреляционная связь между численностью живых клеток фитопланктона и температурой воды (табл. 1). Причиной тесной связи между исследуемыми параметрами является развитие в этот период холодолюбивых видов, для которых диапазон температур оптимален в это время. В апреле – мае среди живых клеток доминировали холодноводные диатомовые водоросли бентоса – *Diatoma vulgare* Bory и *Hannaea arcus* (Ehrb.) Patr., в июне холодноводный и теневыносливый планктонный вид – *Aulacoseira islandica* (O.Mull.) Sim. По литературным данным температурный оптимум доминанта летнего фитопланктона А.

islandica, интенсивное развитие которого обуславливает формирование летнего (июнь) пика, лежит в узких пределах 25 °С.

Статистически достоверные высокие отрицательные коэффициенты корреляции получены в периоды после летнего пика (см. табл. 1) Температура воды в этот период возрастает, что, очевидно, отрицательно сказывается на развитии доминирующих видов фитопланктона. В июле в планктоне реки доминировала – *Cyclotella radiosa* (Grun.) Lemm., в августе – *Fragilaria crotonensis* Kitt. Температурный диапазон вегетации данных видов широк. В литературе температурный оптимум для *C. radiosa* указывается в пределах 5-21°С, для *F. crotonensis* – 13-16 °С и выше. Несмотря на близкую к оптимальным для роста данных видов температуру воды, второго локального пика численности в реке они не формируют.

В 2010 г. описанный выше паттерн формирования кратковременного пика (продолжительностью 1-2 недели) численности живых клеток нарушается – пик становится шире, максимальная численность наблюдается не в начале, а в конце июня. Очевидно, это объясняется медленным прогреванием воды (в течение всего июня температура воды сохраняется на уровне 5 °С), вследствие высокой скорости сброса холодной воды, поступающей из нижних слоев водохранилища (с глубины 20-40 м). Похожие события наблюдаются в 2009 и 2013 гг.

В 2009 г. пик численности живых клеток фитопланктона смещается с начала июня на середину месяца. Непосредственно перед этим событием во второй половине весны отмечается повышенная скорость сброса воды. Как результат – температура воды в начале лета растет с меньшей скоростью, что продлевает период благоприятный для роста фитопланктона и в итоге приводит к смещению пика на более позднее время.

В 2013 г. пик численности живых клеток фитопланктона формируется в конце июня при температуре воды около 5 °С. В период с начала мая до конца июня отмечается последовательное увеличение скорости сброса воды, что видимо, приводит к установлению низкой температуры воды в нижнем

бьефе и далее – к смещению пика численности живых клеток фитопланктона с начала на конец июня.

Среди рассматриваемых лет повышенная скорость сброса воды через плотину ГЭС отмечается также в середине весны 2014 г. Натурные данные показывают аномально высокое значение численности живых клеток фитопланктона в апреле – в несколько раз больше, чем в натурных данных других лет. Температура воды в этот период – около 4 °С также выше, чем температура в прошлые годы в апреле: 2,8-3,4 °С. Вероятно, установление значения температуры воды близкого к оптимальному для роста в результате большого сброса в этом случае также является причиной формирования пика численности клеток фитопланктона. Также можно предположить, что повышенная скорость течения реки, приводит к более интенсивному вымыванию водорослей обрастаний и бентоса нижнего бьефа.

Известно, что непосредственно у плотины изменение в течение года температуры воды р. Енисей в нижнем бьефе определяется процессами теплообмена на поверхности воды Красноярского водохранилища и внутри его толщи. В результате статистического анализа связи температуры воды реки в нижнем бьефе и скорости сброса воды через плотину ГЭС обнаружены значимые коэффициенты корреляции (см. табл. 1).

Статистически значимая положительная корреляционная связь обнаружена между сбросами воды из верхнего бьефа и температурой воды нижнего бьефа в весенний период. Очевидно, глубина заложения водозаборных отверстий (20-40 м) в этот период способствует повышению температуры воды. В летний (июнь-июль) период наблюдается обратная картина – поступление сбросной воды охлаждает температуру речной воды. Это подтверждается статистически достоверными высокими отрицательными коэффициентами (см. табл. 1).

Таким образом, после рассмотрения натурных данных за 2008-2016 гг., можно сделать заключение, что повышенная скорость сброса воды через плотину ГЭС влияет на развитие фитопланктона в нижележащей части р.

Енисей. Вероятно, повышенный сброс изменяет температуру воды, что далее приводит к формированию пика численности живых клеток фитопланктона в иное время, чем в обычных условиях. Сток же водорослей из Красноярского водохранилища в нижний бьеф в связи с его большой глубиной и преобладанием глубинного сброса воды скорее всего незначителен. В заметном количестве в сбросной воде водоросли верхнего бьефа могут появляться к лету, но это требует дополнительных исследований.

Заключение

В результате анализа серии натуральных наблюдений обнаружено, что на динамику фитопланктона в нижнем бьефе непосредственное влияние оказывают температура воды и повышенные уровни сброса воды через плотину. В ходе работы определен механизм влияния больших расходов воды через плотину – повышенная скорость сброса изменяет температуру в реке, что далее влияет на рост фитопланктона. Полученные результаты могут быть применены для составления прогнозов динамики фитопланктона в нижнем бьефе в следующие временные периоды.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-00-00132 мол_a

Литература

1. Гресе В.Н. Кормовые ресурсы рыб реки Енисей и их использование. – М.: Пищепромиздат, 1957. Т. 41. – 236 с.
2. Минеева Н.М., Щур Л.А. Сравнительный анализ условий функционирования фитопланктона крупных речных систем различных климатических зон на примере Волги и Енисея // Водные ресурсы. – 2014. – Т. 41, № 2. – С. 191-199.
3. Пономарева Ю.А., Щур Л.А. Сезонная и межгодовая динамика фитопланктона реки Енисей в районе водозабора Гремячий Лог // Биология внутренних вод. – 2014. – № 1. – С. 38-40.
4. Продукционно-гидробиологические исследования Енисея / Отв. ред. Галазий Г.И., Приймаченко А.Д. – Новосибирск: Наука, 1993. – 198 с.
5. Meiers S.T., Jenkins S.E., Anderson R.V. Possible Effect of Lock and Dam 19 on Phytoplankton Communities of the Upper Mississippi River // Northeastern Naturalist. – 2008. – № 15. – P. 391-402.
6. Ponomareva Yu.A., Ivanova E.A. Ratio between living and dead cells and the size structure of the Yenisei River phytoplankton downstream of the Krasnoyarsk Hydroelectric Power Station // Contemporary Problems Ecology. – 2016. Vol. 9. – № 5. – P. 582-589.
7. Xiao L.J., Wang T., Hu R., Han B.P., Wang S., Qian S., Padisák J. Succession of phytoplankton functional groups regulated by monsoonal hydrology in a large canyon-shaped reservoir // Water Research. – 2011. – № 45. – P. 5099-5109.

Таблица 1 – Коэффициенты корреляции Пирсона между численностью живых клеток фитопланктона и температурой воды ($r_{\text{fact.1}}$) и между уровнями сброса воды через плотину и температурой воды в нижнем бьефе $r_{\text{fact.2}}$ ($r_{\text{fact}} > r_{\text{st}}$, $p \leq 0.01$)

Год	¹ Период наблюдений	n ₁	$r_{\text{fact.1}}$	² Период наблюдений	n ₂	$r_{\text{fact.2}}$
2008	<u>3 дек IV – 1 дек VI</u>	18	0,51	<u>1 дек IV – 2 дек V</u>	34	0,53
	1 дек VI – 1 дек IX	68	-0,62	2 дек V – 2 дек VII	18	-0,65
2009	<u>2 дек V – 2 дек VI</u>	28	0,54	<u>3 дек II – 3 дек IV</u>	44	0,60
	2 дек VI – 1 дек VIII	62	-0,64	3 дек IV – 3 дек VII	67	-0,67
2010	<u>1 дек V – 3 дек VI</u>	40	0,65	<u>1 дек IV – 2 дек VI</u>	53	0,83
	3 дек VI – 3 дек VIII	52	-0,59	2 дек VI – 1 дек IX	65	-0,84
2011	<u>3 дек IV – 1 дек VI</u>	34	0,83	<u>1 дек IV – 2 дек V</u>	33	0,73
	1 дек VI – 3 дек VII	41	-0,66	2 дек V – 1 дек VIII	64	-0,70
2012	<u>3 дек IV – 1 дек VI</u>	34	0,62	=	-	-
	1 дек VI – 1 дек IX	71	-0,68	-	-	-
2013	<u>2 дек IV – 3 дек VI</u>	51	0,70	<u>3 дек IV – 1 дек VII</u>	42	0,73
	3 дек VI – 2 дек VIII	41	-0,73	1 дек VII – 1 дек VIII	25	-0,39
2014	<u>1 дек IV – 2 дек VI</u>	54	0,61	<u>3 дек II – 2 дек IV</u>	26	0,82
	2 дек VI – 2 дек VIII	49	-0,78	2 дек IV – 1 дек VI	32	-0,75
2015	<u>3 дек III – 3 дек VI</u>	68	0,69	<u>3 дек III – 2 дек VI</u>	35	0,82
	3 дек VI – 1 дек IX	59	-0,62	2 дек VI – 2 дек VIII	19	-0,90
2016	<u>3 дек III – 1 дек V</u>	33	0,61	<u>1 дек IV – 2 дек V</u>	26	0,53
	1 дек V – 1 дек IX	89	-0,73	2 дек V – 3 дек VI	34	-0,72

Примечание: над чертой – временной период перед формированием пика численности, под чертой – временной период после формированием пика численности; n₁, n₂ – количество сравниваемых пар; дек – декада месяца; «-» – данные отсутствуют.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННОГО ФАКТОРА НА РЫБ ВЕРХНЕЙ ОБИ

Попов П. А.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Новосибирск, Россия

e-mail: popov@iwep.nsc.ru

Аннотация. В докладе дана краткая оценка влияния на рыб Верх. Оби хозяйственной деятельности человека: загрязнения вод, регулирование стока реки плотиной Новосибирской ГЭС, вселение в Обь чужеродных видов рыб, рыбного промысла. Наиболее существенное отрицательное влияние на рыб Верх. Оби оказывает в настоящее время их вылов, как организациями, так и рыбаками-любителями, поскольку осуществляется без надлежащего научного обоснования и контроля.

Ключевые слова: Верхняя Обь, антропогенный фактор, рыбы, рыболовство

INFLUENCE OF ANTHROPOGENIC FACTORS ON FISH OF UPPER OB RIVER

Popov P. A.

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Novosibirsk, Russia

e-mail: popov@iwep.nsc.ru

Abstract. The paper provides a brief assessment of the impact of human activities on fish of Upper Ob river, namely, water pollution, regulation of the river flow of the river by the dam of the Novosibirsk hydroelectric power station, invasion of alien fish species to Ob river, and fisheries. Currently, the most significant impact on the Upper Ob fish is exerted by commercial and amateur fishery since it is conducted without proper scientific justification and control.

Keywords: upper ob river, anthropogenic factors, fishes, fishery

Введение

Прогрессирующее, преимущественно отрицательное, влияние деятельности человека на флору и фауну Земли – факт хорошо известный. При этом речь идет не только о прямом воздействии человека на численность и разные стороны экологии растений и животных, но и о косвенном влиянии через изменение условий их обитания. В полной мере сказанное относится и к рыбам. Несмотря на сравнительно высокую степень приспособления этих гидробионтов к изменениям среды обитания, возможности адаптации у них не беспредельны. Чем детальнее изучается биология рыб, тем выше вероятность обнаружения у них отклонений от нормы по тем или иным параметрам в случае существенного воздействия антропогенного пресса [1]. Такого рода влияние может проявляться не только на уровне особи, но и на уровне популяции и ихтиоценоза [1]. В экологически «нарушенном» ихтиоценозе, на восстановление которого требуется время и условия, с большей вероятностью находят свою нишу рыбы-вселенцы, способствуя формированию нового, по сравнению с исходным, ихтиоценоза [2].

Существенная перестройка структуры ихтиоценоза того или иного водоема происходит в случае воздействия на него таких форм хозяйственной деятельности человека, как загрязнение, зарегулирование стока рек плотинами, вселение чужеродных видов рыб, рыбный промысел. Также следует отметить, что изучение характера влияния на рыб деятельности человека необходимо как с целью минимизации отрицательного воздействия этого фактора, так и с целью ихтиоиндикации экологического состояния того или иного водоема в целом [1, 3].

Цель настоящего доклада – краткая оценка влияния на рыб Верхней Оби указанных выше факторов деятельности человека. В состав бассейна Верх. Оби включены реки и озера Горного Алтая, основное русло Оби от истока до устья Томи, Новосибирское водохранилище и р. Томь.

Фактор загрязнения Верхней Оби

Оценка влияния на рыб загрязнения водоемов Верх. Оби, как, впрочем, на рыб любого природного водоема, сопряжена с целым рядом методических трудностей, из которых основной является сложность вычленения воздействия загрязнения из комплекса факторов, как антропогенного, так и естественного происхождения. Об отрицательном влиянии на рыб загрязнения с высокой степенью достоверности можно судить только по результатам сопряженного анализа химического состава среды обитания рыб и их морфофизиологического состояния, характера миграций и ряда других черт экологии. Примером такого подхода могут служить работы по оценке влияния на рыб загрязнения рек Кольского п-ова тяжелыми металлами (ТМ) [1]. Также следует учитывать, что отрицательное влияние на рыб могут оказывать сравнительно небольшие концентрации токсикантов в случае их долговременного воздействия [3].

В пределах Верх. Оби к наиболее репрезентативным следует отнести проведенные в рамках многолетней программы ИВЭП исследования по содержанию в органах и тканях рыб ТМ. В реках и озерах Горного Алтая, в том числе в р. Катунь на участке планируемого строительства Алтайской

ГЭС, содержание этих элементов в рыбах, включая ртуть, в среднем невысокое [4]. В некоторых озерах высокогорий Алтая обнаружена повышенная концентрация хрома и ртути в мышцах пеляди, хариуса, подкаменщика и османа [4], что наиболее вероятно связано с природным фактором – повышенным содержанием металлов в границах Акташского месторождения ртути и комплексного рудопроявления Аюту. Накопление ртути в рыбах водохранилища Алтайской ГЭС, в случае реализации проекта, может достигать концентраций, близких к допустимой остаточной концентрации (ДОК) этого металла в мышечной ткани рыб. Подробно этот вопрос рассмотрен нами в работе [5].

Изучение содержания ТМ в рыбах Верх. Оби на участке от истока до Новосибирского водохранилища до настоящего времени не проводилось. Исключением является работа И. А. Глазуновой (цит. по 4), в которой приведены сведения о невысоких концентрациях ТМ в рыбах из р. Оби в районе водозабора г. Барнаула. Не обнаружены нами [5] высокие (выше ДОК в мышечной ткани) концентрации ТМ в рыбах Новосибирского водохранилища и в р. Оби на участке под плотиной ГЭС. Аналогичные результаты получены нами при изучении содержания ТМ в стерляди и ельце, выловленных в конце октября 2014 г. в Оби близ пос. Киреевск (Томская область), и в рыбах (стерлядь, щука, елец, лещ, судак, ротан-головешка), пойманных в мае 2016 г. на устьевом участке Томи.

Наглядной иллюстрацией влияния на рыб загрязнения среды их обитания является трансформация ихтиоценоза р. Томи, которая до конца 30-х гг. XX в. представляла собой чистый водоток с минимальной антропогенной нагрузкой на него и оптимальными условиями жизни рыб. В первой половине XX в. в реке и ее придаточных водоемах вылавливалось не менее 8 тыс. ц рыбы ежегодно. С конца 30-х гг. XX в. воды Томи начали активно загрязняться в связи развитием на территории бассейна реки сельскохозяйственного и, особенно, промышленного производства, урбанизации. Первые случаи массовой гибели рыб в Томи были отмечены в

районе г. Кемерово в 1938 г. В 1939 г. гибель рыб зарегистрирована в 80–85 км ниже этого города, в 1942 г. – в устье реки. Летом 1944 г. произошла массовая гибель рыб на участке Томи близ пос. Коларово. С 1945 г. стали наблюдаться ежегодные зимние заморы рыбы, как на отдельных участках реки, так и в ее придаточной системе. Загрязнение Томи отразилось и на рыбах прилежащего участка Оби.

По мере нарастания загрязнения Томи особо чувствительные к влиянию токсикантов туводные виды рыб постепенно переместились из загрязненных участков реки в ее верхнее течение и притоки, а полупроходные рыбы стали заходить из Оби в устьевой участок в малом числе и не каждый год, сиг-пыжьян и тугун из состава ихтиофауны Томи исчезли совсем. В начале второй половины XX в. река рыбопромысловое значение утратила. В последующие годы загрязнение Томи то возрастало, то несколько снижалось, однако в целом условия обитания рыб в реке остаются неблагоприятными до настоящего времени.

Содержание ТМ в рыбах Томи изучалось спорадически. В 1990 г. в среднем течении реки (ниже г. Кемерово) выявлено небольшое превышение ряда ТМ (включая ртуть) у сибирского ельца и окуня; в пробах, отобранных в 1991 г., отмечено превышение ДОК ТМ у меньшего числа видов рыб и в меньшем числе проб каждого вида. Невысокое содержание ртути было обнаружено С. С. Эйрих и Т. С. Папиной [цит. по 4] в мышечной ткани рыб Томи летом 1991 г. Аналогичные результаты получены нами при изучении содержания ТМ в рыбах реки в 2007 и 2009 гг.

В рыбах устья Томи (р. Ромашка, Чернильщикова протока) на участке ближней зоны влияния СХК в конце 1990-х гг. и в начале XX в. были выявлены гамма-излучающие техногенные радионуклиды: ^{24}Na , ^{42}K , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{76}As , ^{137}Cs , ^{152}Eu , ^{125}Sb и ^{239}Np [6]. В условиях повышенных температур воды в Чернильщиковой протоке у судака, леща, сазана и серебряного карася нарушается процесс репродукции, в т. ч. в результате гибели личинок при их сносе в холодные воды нижележащего участка реки.

Фактор зарегулирования стока Оби

Известно, что при зарегулировании стока рек плотинами крупных по мощности ГЭС речной ихтиоценоз трансформируется в условиях равнинного водохранилища в ихтиоценоз озерно-речного типа, в котором преобладают рыбы-реолимнофилы и лимнофилы. Виды рыб-реофилов уходят из водохранилища в пределы верхнего течения реки или в притоки, нередко продолжая использовать отдельные участки водохранилища для нагула. Большое количество молоди и, частично, взрослые особи рыб выносятся из водохранилища в нижний бьеф, пополняя численность популяций или даже меняя в той или иной степени видовую структуру ихтиоценоза реки ниже плотины. В водохранилище формируются новые или слабовыраженные ранее циклы паразитарных и инфекционных заболеваний рыб. В связи с замедленным, по сравнению с рекой, водообменом, в водохранилище аккумулируются загрязняющие вещества, многие из которых депонируются в донных отложениях и служат постоянным источником интоксикации рыб. В большинстве водохранилищ получает развитие промысловое и любительское рыболовство.

Все сказанное имело и имеет место в Новосибирском водохранилище и его нижнем бьефе [7]. В частности, в результате создания плотины ГЭС был перекрыт путь полупроходных рыб (осетра и нельмы) Оби на нерест к нерестилищам в верховья реки. Сформировавшиеся на участке Верх. Оби туводные популяции осетра и нельмы малочисленны, в том числе в связи с исчезновением на этом участке реки значительной части нерестилищ и зимовальных ям. В водохранилище сформировался реолимнофильный ихтиоценоз, в котором из промысловых видов наиболее многочисленным стал вселенный в р. Обь в 1957–1961 г. лещ, составивший существенную конкуренцию на почве питания другим рыбам-бентофагам, в том числе плотве и стерляди. Заметную роль в ихтиоценозе водохранилища и другой вселенец – судак, а также случайный вселенец – верховка. Практически ежегодно в водохранилище и, частично, в нижнем бьефе, наблюдается

массовое заболевание леща ленточными червями *Ligula intestinalis* и *Digramma interrupta*. У многих половозрелых особей инвазированного леща в результате депрессии иммунной системы подавлено развитие половых желез. Колебание уровня воды в водохранилище оказывает отрицательное влияние на нагул и размножение рыб, как в самом водохранилище, так и на всем протяжении среднего течения Оби. В результате воздействия стоковых течений из водохранилища ежегодно, особенно в период половодья, выносятся весьма значительное количество рыб всех видов, прежде всего молоди, большая часть которых при прохождении через турбины погибает.

Отрицательное влияние на рыб Верх. Оби оказывают крупные водозаборные сооружения, на многих из которых рыбозащитные сооружения отсутствуют. Например, по данным А. В. Мужикова [цит. по 7], на сороудерживающих сетках водозаборного сооружения ТЭЦ-2 г. Новосибирска в период с 1 июня по 31 августа 2009 г. сотрудниками «Верхнеобьрыбвода» была зафиксирована гибель около 22 тыс. молоди рыб, из которых сеголетки массой менее 1 г составили 95 %.

Фактор вселенцев

Пополнение исторически сложившегося ихтиоценоза новыми видами рыб, вселенными человеком с целью повышения рыбопродуктивности того или иного водоема или попавшими в него случайно в процессе интродукции промысловых видов рыб или объектов их питания, в отдельных случаях приносит положительные результаты, например, вселение судака в Обь, сазана – в оз. Чаны, европейской ряпушки – в Бухтарминское водохранилище, но чаще имеет негативные последствия, поскольку ведет к перестройке структуры исходного ихтиоценоза и экологии входящих в его состав рыб, формированию новых циклов паразитарных заболеваний и др. [2].

Из 96 видов пресноводных костных рыб, обитающих в реках, озерах и водохранилищах Сибири, 33 вида – эндемики Байкала, а 16 видов – вселенцы. В бассейне Оби отмечено 52 вида рыб, из которых 15 видов и амурская форма серебряного карася являются вселенцами. В пределах Верх.

Оби известно 9 рыб-вселенцев: лещ, сазан, уклея, верховка, амурский серебряный карась, судак, ротан-головешка, вьюн, девятииглая колюшка. Лещ, судак и сазан были вселены в р. Обь с целью увеличения разнообразия промысловых видов реки и ее ихтиопродуктивности. Верховка, уклея, амурский карась, вьюн, ротан-головешка попали в водоемы Оби случайно в процессе завоза посадочного материала промысловых рыб. В итоге лещ распространился в пределах Оби на всем ее протяжении. Этому способствует весьма высокая степень его адаптации к условиям обитания, как во многих озерах, так и в речных водах. Судак также встречается в Верх. Оби повсеместно, но его промысловые запасы сформировались только в водохранилище. Сазан акклиматизировался во многих озерах юга Западной Сибири, но везде сравнительно малочислен. В небольшом числе он обитает и в хорошо прогреваемых речных водах верховьев Оби.

В 1973 г. на территории Новосибирской области в оз. Хорошее Бурлинской системы озер обнаружена уклея. С 1999–2000 г. уклея – массовый вид в р. Томи, где она является объектом любительского рыболовства. Из других случайных вселенцев весьма опасным для рыб-аборигенов является ротан-головешка, ареал которого в пределах Верх. Оби (как и в бассейне Оби в целом) неуклонно расширяется.

Фактор вылова

Промысловый лов рыб в водоемах Горного Алтая не ведется в связи с малочисленностью рыб. В результате любительской рыбалки в большинстве водоемов этого региона сократилась численность сибирского хариуса, возраст наступления половой зрелости которого сдвинулся на более ранние сроки жизненного цикла, а размеры и масса тела рыб в популяциях существенно снизились. В оз. Телецком в результате многолетней добычи практически исчез ленок, весьма малочислен таймень, требуется контроль за состоянием численности уникальных для юга Западной Сибири популяций сига-пыжьяна (*Coregonus lavaretus pidschian*) и сига Правдина (*Coregonus pravdinellus*).

В Оби на участке от истока реки до Новосибирского водохранилища в 1950-е гг. предприятиями гослова ежегодно вылавливалось в среднем 15 тыс. ц рыбы, в том числе в районе будущего водохранилища около 2 тыс. ц. В последние годы промысловый лов рыбы на участке Верх. Оби ведется в небольших масштабах в связи с относительно невысокой численностью рыб. Промысловые запасы леща, сазана, судака и щуки находятся в напряженном состоянии в результате чрезмерного вылова. Численность осетра и стерляди на этом участке реки существенно сократилась в результате браконьерской добычи, а также в результате ухудшения зимовки в районе зимовальных ям и нерестилищ. В 2001 г. сибирский осетр Обь-Иртышского бассейна внесен в Красную книгу РФ как вид с быстро сокращающейся численностью, стерлядь, таймень, ленок и нельма – в Красную Книгу Алтайского края. В целом, состояние численности осетровых в Верх. Оби оценивается как неблагоприятное.

В Новосибирском водохранилище на первом этапе формирования его ихтиоценоза доминирующими видами в промысловых уловах были рыбы-филофилы: плотва, щука и окунь. В последующие годы основу промыслового и любительского лова составляли наиболее многочисленные в водохранилище лещ и плотва. Стерлядь, осетр, таймень и нельма уже в этот период добывались в небольшом числе, преимущественно в пределах верхнего участка. Максимальные промысловые уловы рыбы в этом водоеме наблюдались в период с 1988 по 1996 г. – в среднем ежегодно 10 150 ц; в 2011 г. эта величина составила 5 289 ц, из которых на долю леща пришлось 5 189, судака 190 ц. В период с 2012 по 2016 г. включительно в водохранилище ежегодно вылавливалось в среднем 7 000 ц рыбы, в т. ч. 6 160 ц леща и 120 ц судака.

В Оби на приплотинном участке Новосибирской ГЭС до 1967 г. включительно в уловах доминировали язь, плотва, окунь, щука, налим. Из ценных видов рыб вылавливались осетр (2–27 ц в год), стерлядь (1–43 ц в год), нельма (0,6–12 ц в год). С 1990 по 1995 г. включительно здесь ежегодно

добывалось в среднем 1 379 ц рыбы. Основная доля уловов приходилась на леща (в среднем 72,4 %), существенно меньшая – судака (6,2 %), окуня (4,8 %) и язя (4,2 %). Вылов рыбы на этом участке реки рыбаками-любителями в 2003 г. равнялся 440 ц [7].

На участке Оби ниже Новосибирска протяженностью 300–350 км лов рыбы организациями не ведется. Промысловый в прошлом и браконьерский вылов в настоящее время являются главной причиной резкого снижения в пределах Средней Оби численности осетровых и сиговых. В Томи лов рыбы осуществляется только рыбаками-любителями. Осетр, стерлядь, нельма и ленок занесены в Красную Книгу Кемеровской области. В целом, ситуация на юге Западной Сибири по вылову рыб в естественных водоемах и их выращиванию за последние 30–40 лет существенно ухудшилась. Так, если в 1980-е гг. ежегодная суммарная величина рыбной продукции в Алтайском крае составляла (без учета любительского лова) 20–25 тыс. ц, то в последние годы в этом регионе добывается и выращивается около 10 тыс. ц, в Новосибирской области – 80–100 и 30–40, в Томской области – 30–35 и около 10, в Кемеровской области – до 35 и 3,5–4,0 тыс. ц соответственно.

Выводы:

1. Влияние хозяйственной деятельности человека на рыб Верх. Оби складывается из нескольких основных факторов: загрязнения водоемов, зарегулирования стока Оби плотиной Новосибирской ГЭС, инвазии новых видов-рыб, вылова.

2. Наименее изученным является фактор влияния на рыб Верх. Оби ее загрязнения. Проведенные исследования по содержанию ТМ в рыбах Горного Алтая и Верх. Оби от истока до устья Томи превышения ДОК этих элементов в мышечной ткани рыб не выявили. Однако, полученные данные нельзя считать репрезентативными, поскольку изучались рыбы на немногих участках и спорадически. В известной степени это касается и рыб Томи. Но исчезновение из состава ихтиофауны сига-пыжьяна и тугуна, а также общее снижение численности рыб является неоспоримым доказательством

негативного влияния на рыб этой реки ее загрязнения. Влияние на рыб Верх. Оби токсикантов органической природы не изучалось.

3. Негативное влияние зарегулирования стока Оби плотинами Новосибирской ГЭС связано, прежде всего, со снижением репродуктивного потенциала полупроходных рыб Оби (осетра, нельмы) и с некоторым ухудшением условий нагула и размножения туводных рыб на участке среднего и даже нижнего течения реки.

4. Влияние рыб-вселенцев на ихтиоценозы Верх. Оби правомерно рассматривать в двух аспектах: положительном – в связи с увеличением промысловой рыбопродуктивности ряда участков реки и водохранилища (лещ, судак, сазан), и отрицательном – в связи с негативным влиянием вселенцев на исходную структуру ихтиоценоза, конкуренцией их на почве питания и размножения с видами-аборигенами.

5. Наиболее существенным фактором влияния на рыб Верх. Оби в настоящее время является их вылов, как организациями, так и рыбаками-любителями. На протяжении долгого времени и в большинстве водоемов добыча рыб велась без учета потенциала воспроизводства промысловых видов, при малой эффективности рыбоохранных мероприятий.

Литература

1. Моисеенко Т.И. Водная токсикология: Теоретические и прикладные аспекты. – М.: Наука, 2009. – 400 с.
2. Дгебуадзе Ю.Ю., Павлов Д.С. Вчера, сегодня и завтра инвазий чужеродных видов в Российской Федерации // Сб. науч. тр., ФГНУ «ГосНИОРХ». – 2007. – Вып. 337. – С. 71-81.
3. Попов П.А. Оценка экологического состояния водоемов методами ихтиоиндикации. – Новосибирск: НГУ, 2002. – 267 с.
4. Попов П.А., Андросова Н.В. Содержания тяжелых металлов в мышечной ткани рыб из водоемов басс. р. Оби // Вестник ТГУ. Биология. – 2014. – № 4. – С. 122-136.
5. Попов П.А. К прогнозной оценке влияния Алтайской ГЭС на рыб реки Катунь // Материалы Всерос. науч.-практич. конф. «Научные основы экологического мониторинга водохранилищ». – Хабаровск: ДВО РАН, 2005. Вып.2. – С. 150-153.
6. Торопов А.В. Последствия гонки ядерных вооружений для реки Томи: без ширмы секретности и спекуляций. – Томск: Дельтаплан. – 168 с.
7. Попов П.А., Визер А.М. Состав ихтиоценоза и рыбопродуктивность // Многолетняя динамика водно-экологического режима Новосибирского водохранилища / Отв ред. акад. Васильев О.Ф. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. – С. 230-264.

ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МАЛЫХ РЕК В ЧЕРТЕ ГОРОДА НОВОСИБИРСКА НЕФТЕПРОДУКТАМИ

Седых В.А, Рощина Е.В.

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»,
г. Новосибирск, Россия*

e-mail: kvig@nsawt.ru

Аннотация. В статье дана краткая характеристика нефтепродуктов, представлены данные по содержанию нефтепродуктов в малых реках г. Новосибирска за многолетний период.

Ключевые слова: малые реки, нефтепродукты, загрязнение.

EVALUATION OF OIL POLLUTION OF SMALL RIVERS IN NOVOSIBIRSK CITY

Sedyh V.A., Roshchina E.V.

Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russia

e-mail: kvig@nsawt.ru

Abstract: The paper gives a brief description of oil products; the data on the content of oil products in small rivers of Novosibirsk for a long-term period are presented.

Keywords: small rivers, oil products, pollution

Нефть и нефтепродукты относятся к числу наиболее распространенных в глобальном масштабе и опасных токсичных веществ, вызывающие тяжелые экологические последствия при загрязнении ими водных объектов. Нефть и нефтепродукты – смесь углеводородов и некоторых их производных, а так же индивидуальные химические соединения, получаемые при переработке нефти и используемые в качестве топлив, смазочных материалов, электроизоляционных средств, растворителей и т.д.

Состав нефти и продуктов ее переработки чрезвычайно сложен и разнообразен. В него входят как низко, так и высокомолекулярные соединения различной химической природы: углеводороды (предельные и непредельные алифатические, нафтеновые, ароматические), а так же многочисленные кислородные (спирты, фенолы, жирные нафтеновые и ароматические кислоты), альдегиды, сложные эфиры и т.д.; азотистые (органические основания, производные пиридина, хинолина, мины, аминокислоты и другие вещества); сернистые соединения (свободная сера, сероводород, меркаптаны, сульфиды, дисульфиды, полисульфиды, тиофен и его производные).

Многие компоненты нефти обладают токсичными свойствами, что губительно сказывается на условиях обитания гидробионтов. Неблагоприятное воздействие нефтепродуктов сказывается различными способами на организм человека, животный мир, водную растительность, физическое, химическое и биологическое состояние водоема. В присутствии нефтепродуктов вода приобретает специфический вкус и запах, изменяется ее цвет, рН среды, ухудшается газообмен с атмосферой.

Цель работы – оценка содержания нефтепродуктов в малых реках г. Новосибирска за многолетний период.

Сведения по уровню загрязнения малых рек в черте города нефтепродуктами были заимствованы в Западно – Сибирском центре мониторинга загрязнений окружающей среды.

На территории г. Новосибирска протекает восемь малых рек: Ельцовка – 1, Ельцовка – 2, Нижняя Ельцовка, Иня (нижняя), Каменка, Тула, Плющиха, Камышенка. Общая протяженность около 100 км. Следует отметить, что для реки Камышенка данные не представлены.

На рисунке 1 представлена динамика загрязнения нефтепродуктами воды р. Ельцовка – 1 [1-3,4-8,10-14].

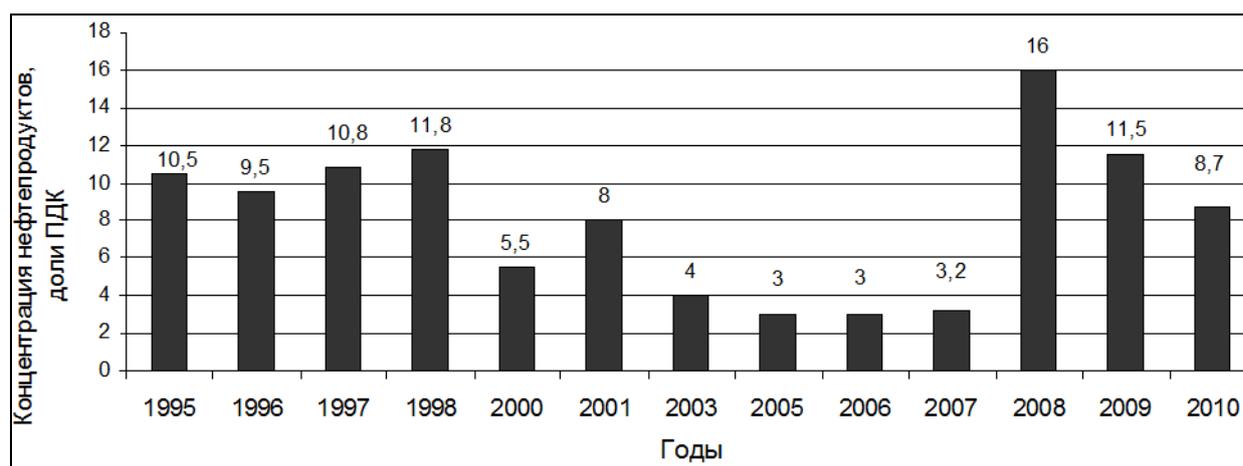


Рис. 1 – Динамика загрязнения нефтепродуктами р. Ельцовка-1

Как видно из рисунка 1, уровень загрязнения нефтепродуктами колебался 3 - 16 ПДК. Максимальное загрязнение приходилось на 2008 год (16 ПДК) и 1997-1998 (11 ПДК), что свидетельствует о значительной техногенной нагрузке.

На рисунке 2 представлена динамика загрязнения нефтепродуктами в воде р. Ельцовка – 2 [3-8,13].

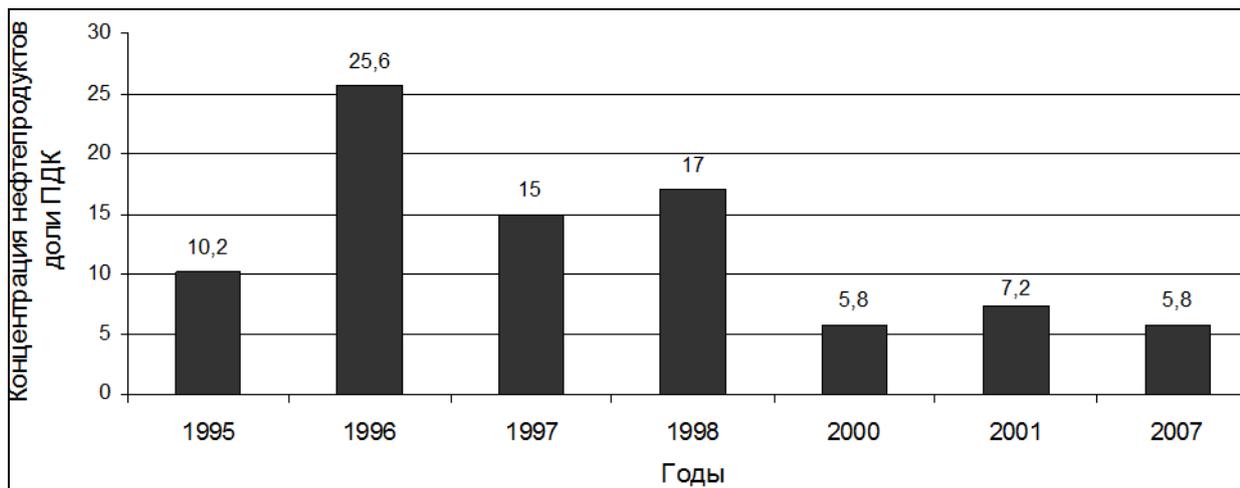


Рис. 2 – Динамика загрязнения нефтепродуктами р. Ельцовка-2

Как видно из рисунка, уровень загрязнения вод значительный и колеблется в пределах 5,8 – 25, 6 ПДК, максимальный уровень загрязнения приходится на 1996 год и составлял 25 ПДК, вместе с тем наблюдается тенденция к снижению загрязнения нефтепродуктами до 6 – 7 ПДК.

На рисунке 3 представлена динамика загрязнения нефтепродуктами воды р. Нижняя Ельцовка за 2005-2007 гг. [11-13].

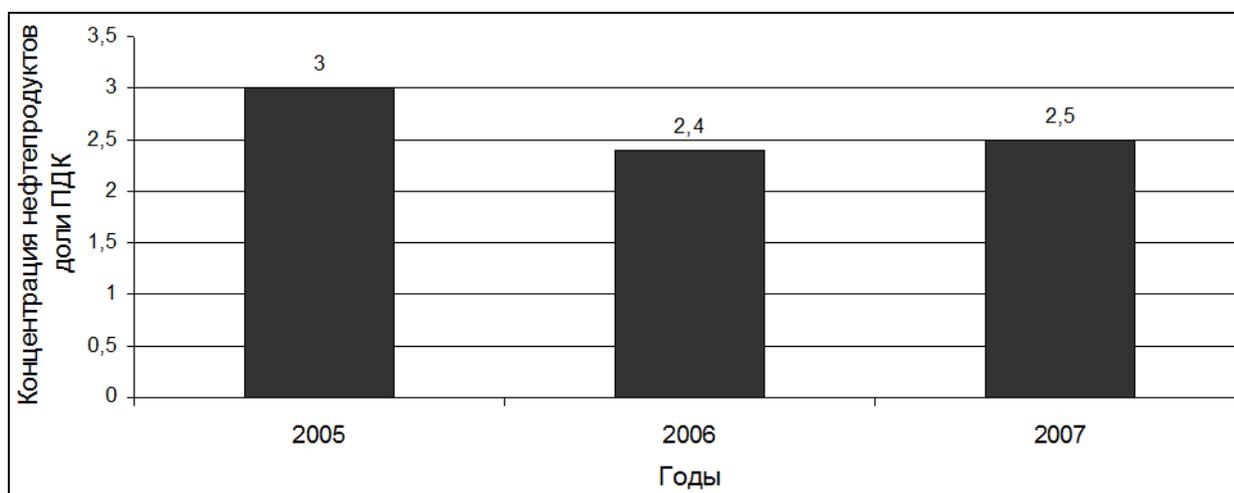


Рис. 3 – Динамика загрязнения нефтепродуктами р. Нижняя Ельцовка

Из рисунка 3 видно, что уровень загрязнения вод р. Нижняя Ельцовка достаточно стабильный и составляет 2 – 3 ПДК

На рисунке 4 представлена динамика загрязнения нефтепродуктами вод р. Каменка за период 1995-2007 гг. [4-13].

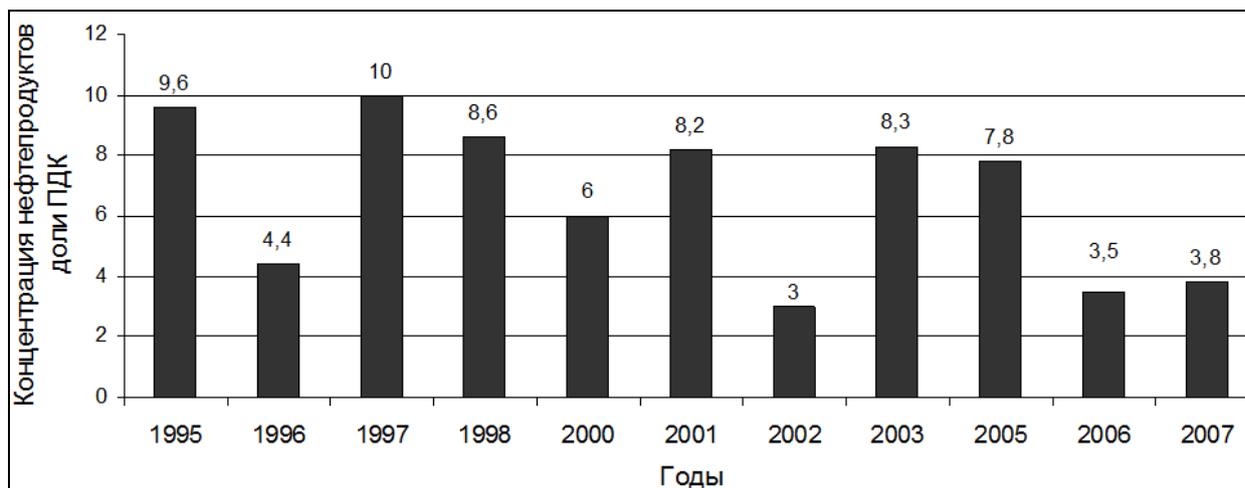


Рис. 4 – Динамика загрязнения нефтепродуктами р. Каменка

Как видно из рисунка 4, уровень загрязнения вод р. Каменка колеблется в интервале от 3 до 10 ПДК. Максимальные загрязнения нефтепродуктами наблюдалось в 1997 году и составляли 10 ПДК. В последние годы наблюдается тенденция снижения содержания нефтепродуктов в воде р. Каменка до 3,5 – 3,8 ПДК.

На рисунке 5 приведена динамика содержания нефтепродуктов в воде р. Иня (нижняя) за 1995 – 2007 гг. [3-8,11-13].

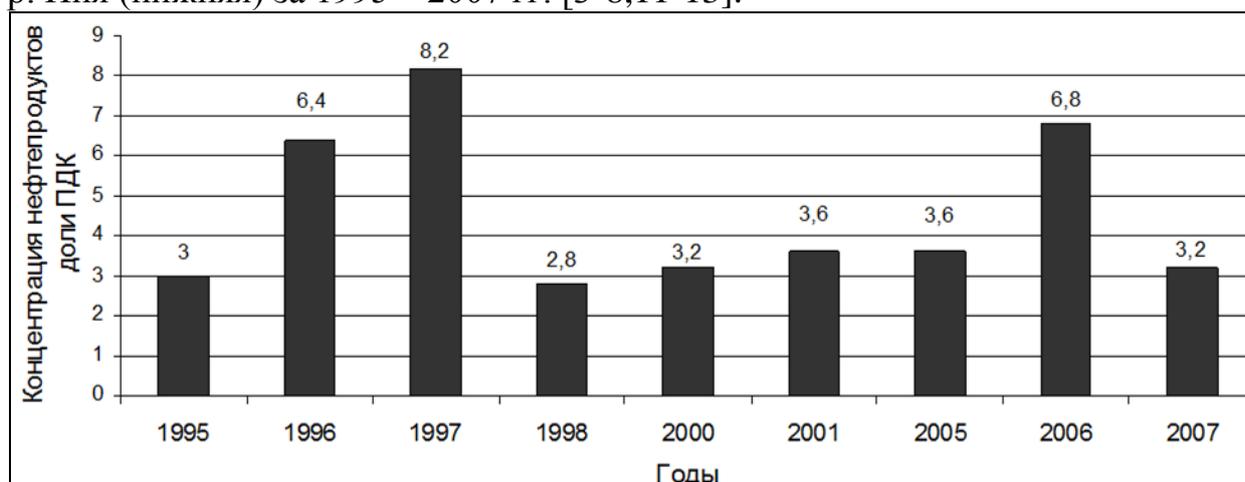


Рис. 5 – Динамика загрязнения нефтепродуктами р. Иня (нижняя)

Как видно из рисунка, уровень загрязнения нефтепродуктами вод р. Иня (нижняя) изменяется в пределах 2,8 – 8,2 ПДК. Максимальные загрязнения наблюдались в 1997 году и составляли 8,2 ПДК. В последние годы уровень загрязнения нефтепродуктами стабилизировался и составил в среднем 4 ПДК.

На рисунке 6 приведена динамика загрязнения вод р. Плющиха нефтепродуктами за 2005 – 2007 гг. [11-13].

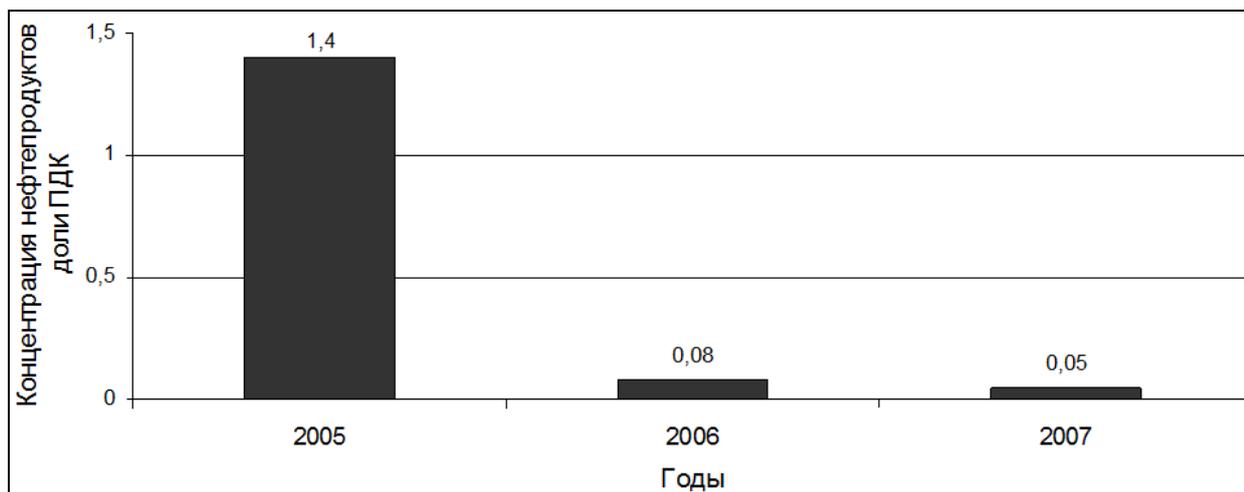


Рис. 6 – Динамика загрязнения нефтепродуктами р. Плющиха

Как видно из рисунка 6, загрязнение вод р. Плющиха за исследуемый период незначительное и не превышает 1,4 ПДК.

На рисунке 7 приведена динамика загрязнения вод нефтепродуктами р. Тула [3-9,11-13].

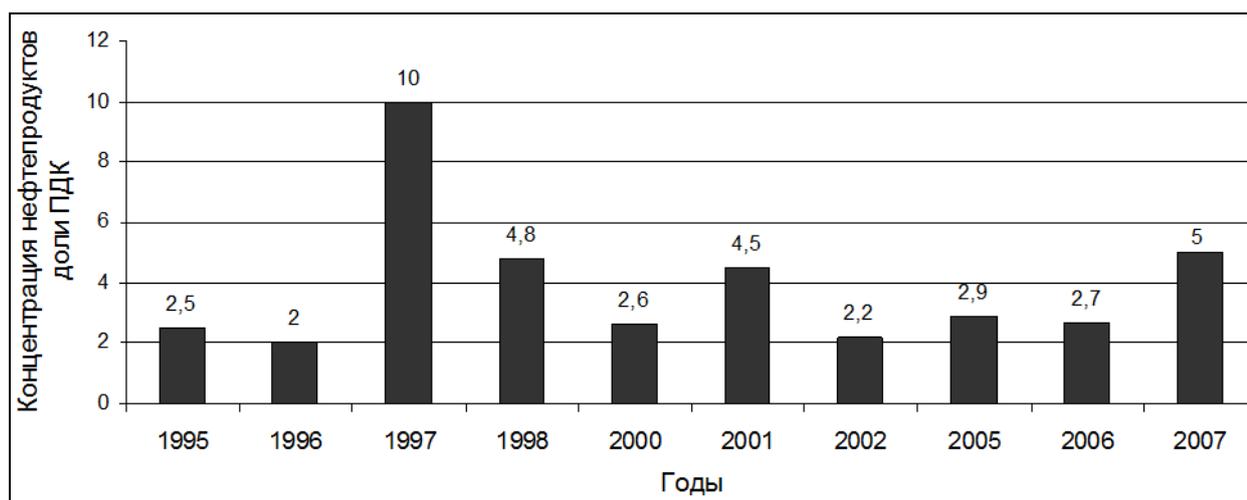


Рис. 7 – Динамика загрязнения нефтепродуктами р. Тула

Уровень загрязнения вод р. Тула колеблется в широких пределах от 2,2 до 10 ПДК (1997 год). В последние годы загрязнение вод нефтепродуктами стабилизировалось на уровне 2 – 5 ПДК.

Таким образом, высокое содержание среднегодовых концентраций приоритетных органических загрязняющих веществ нефтепродуктов в малых реках, свидетельствует о значительной техногенной нагрузке сточных, поверхностных вод городских предприятий г. Новосибирска. Следует также отметить, что повышенное содержание нефтепродуктов в воде способствует

накоплению нефтепродуктов в донных отложениях, являющихся источниками вторичного загрязнения водоемов.

Литература

1. О состоянии и об охране окружающей среды Новосибирской области в 2010 году: государственный доклад / Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Новосибирской области. – Новосибирск, 2011.
2. О состоянии окружающей среды Новосибирской области в 2008 году: государственный доклад / Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Новосибирской области. – Новосибирск, 2009.
3. Состояние окружающей среды Новосибирской области в 1995 году / Новосибирский областной комитет охраны окружающей среды и природных ресурсов / ред. Петрика А.И. – Новосибирск, 1996.
4. Состояние окружающей среды Новосибирской области в 1996 году / Новосибирский областной комитет охраны окружающей среды и природных ресурсов / ред. Петрика А.И. – Новосибирск, 1997.
5. Состояние окружающей среды Новосибирской области в 1997 году / Новосибирский областной комитет охраны окружающей среды и природных ресурсов / ред. Петрика А.И. – Новосибирск, 1998.
6. Состояние окружающей среды Новосибирской области в 1998 году / Новосибирский областной комитет охраны окружающей среды и природных ресурсов / ред. Петрика А.И. – Новосибирск, 1999.
7. Состояние окружающей среды Новосибирской области в 2000 году / Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Новосибирской области. – Новосибирск, 2001.
8. Состояние окружающей среды Новосибирской области в 2001 году / Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Новосибирской области. – Новосибирск, 2002.
9. Состояние окружающей среды Новосибирской области в 2002 году / Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Новосибирской области. – Новосибирск, 2003.
10. Состояние окружающей среды Новосибирской области в 2003 году / Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Новосибирской области. – Новосибирск, 2004.
11. Состояние окружающей среды Новосибирской области в 2005 году / Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Новосибирской области. – Новосибирск, 2006.
12. Состояние окружающей среды Новосибирской области в 2006 году / Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Новосибирской области. – Новосибирск, 2007.
13. Состояние окружающей среды Новосибирской области в 2007 году / Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Новосибирской области. – Новосибирск, 2008.
14. Состояние окружающей среды Новосибирской области в 2009 году: государственный доклад / Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Новосибирской области. – Новосибирск, 2010.

ИССЛЕДОВАНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА С ВОДОСБОРНЫХ ПЛОЩАДЕЙ РЯДА МАЛЫХ ВОДОЕМОВ Г. НОВОСИБИРСКА

Седых В.А., Тушина А.С., Спиренкова О.В.

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»,
г. Новосибирск, Россия*

e-mail: kvig@nsawt.ru

Аннотация. Приведены данные анализа снежного покрова на водосборных площадях ряда малых водоемов. Дана оценка загрязнения снежного покрова.

Ключевые слова: загрязнение воды, водные объекты, малые водоемы, снежный покров

STUDY OF SNOW FROM CATCHMENTS OF SMALL WATER BODIES OF NOVOSIBIRSK CITY

Sedyh V.A., Tushina A.S., Spirenkova O.V.

Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russia

e-mail: kvig@nsawt.ru

Abstract. Data on the analysis of snow from catchments of small water bodies are given. The assessment of snow pollution is presented.

Keywords: water pollution, water bodies, snow cover

Поверхностные водные объекты государственного водного фонда НСО на территории города Новосибирска представлены рекой Обью с крупными притоками – реками Иня и Тула, малыми реками: Ельцовка-1, Ельцовка-2, Каменка, Нижняя Ельцовка, Камышенка, Плющиха и водоемами – частью Новосибирского водохранилища, прудами, обводненными карьерами, естественными озерами и болотами.

Особенно уязвимыми объектами городского ландшафта с точки зрения антропогенного воздействия являются малые водоемы. Отсутствие проточности водоемов в условиях крупного города вызывает их обмеление, увеличение массы донных отложений, мусора и интенсивное зарастание камышом и водорослями. Накапливание в водоемах свободной органики приводит к замедлению процессов самоочищения, уменьшению содержания растворенного кислорода в воде, цветению воды, образованию неприятных запахов, обеднению экосистемы. Даже слабые изменения качества воды в них могут радикально изменить экологическую обстановку [1].

На территории города Новосибирска находится около 60 малых водоемов (прудов, пойменных озер, обводненных карьеров), изучение которых до 2011 года не проводилось. В 2011 году кафедрой Водных

изысканий и экологии (ВИ и Э) ФГБОУ ВО «Сибирского государственного университета водного транспорта» была проведена инвентаризация 58-и водных объектов, в результате которой для каждого водоема был составлен паспорт, включающий в себя следующие сведения: наименование, местоположение, наличие и состояние путей подъезда, морфометрические характеристики, характеристика береговой линии, типы донных грунтов и мощность илистых отложений, наличие притоков, истоков, прилегающих болот, ключей, описание характера антропогенного воздействия на прибрежную зону на расстоянии 100 м от береговой линии, рекомендации по охране и рациональному хозяйственному использованию, сведения о гидрологическом режиме (источники питания). Также начиная с 2011 года кафедрой ВИ и Э проводится изучение качественного и количественного состава загрязняющих веществ в водоемах города Новосибирска. В ходе исследований было установлено, что многие водоемы подвергаются сильнейшему антропогенному воздействию, их акватории и питающие водотоки зачастую завалены мусором, возможны несанкционированные стоки, вода подвержена цветению, имеет высокую мутность, гнилостный запах. Водные объекты и прилегающие к ним территории имеют крайне неэстетичный вид.

К основным источникам загрязнения поверхностных вод г. Новосибирска можно отнести поверхностный сток с промышленных площадок, организованные выпуски сточных вод, снегоотвалы, смывы сельхозугодий и животноводческих комплексов, свалки, донные отложения и т.д. [2]

Снежный покров является эффективным накопителем аэрозольных загрязняющих веществ из атмосферного воздуха. При образовании и выпадении снега концентрация загрязняющих веществ в нем оказывается обычно на 2-3 порядка величины выше, чем в атмосферном воздухе. Загрязнение снежного покрова происходит в 2 этапа. Во-первых, это загрязнение снежинок во время их образования в облаке и выпадения на

местность - влажное выпадение загрязняющих веществ со снегом. Во-вторых, это загрязнение уже выпавшего снега в результате сухого выпадения загрязняющих веществ из атмосферы, а также их поступления из подстилающих почв и горных пород. Измерение загрязняющих веществ в снежном покрове позволяет оценить загрязнение атмосферного воздуха.

Снежный покров является одним из источников загрязнения поверхностных вод, поэтому при исследовании малых водоемов становится очевидной необходимость анализа состояния снежного покрова с водосборной площади водных объектов.

Для проведения исследований были выбраны 8 малых водоемов: №1, №3, №5, №9, №22, №39, №58, оз. Спартак (Рисунок 1).

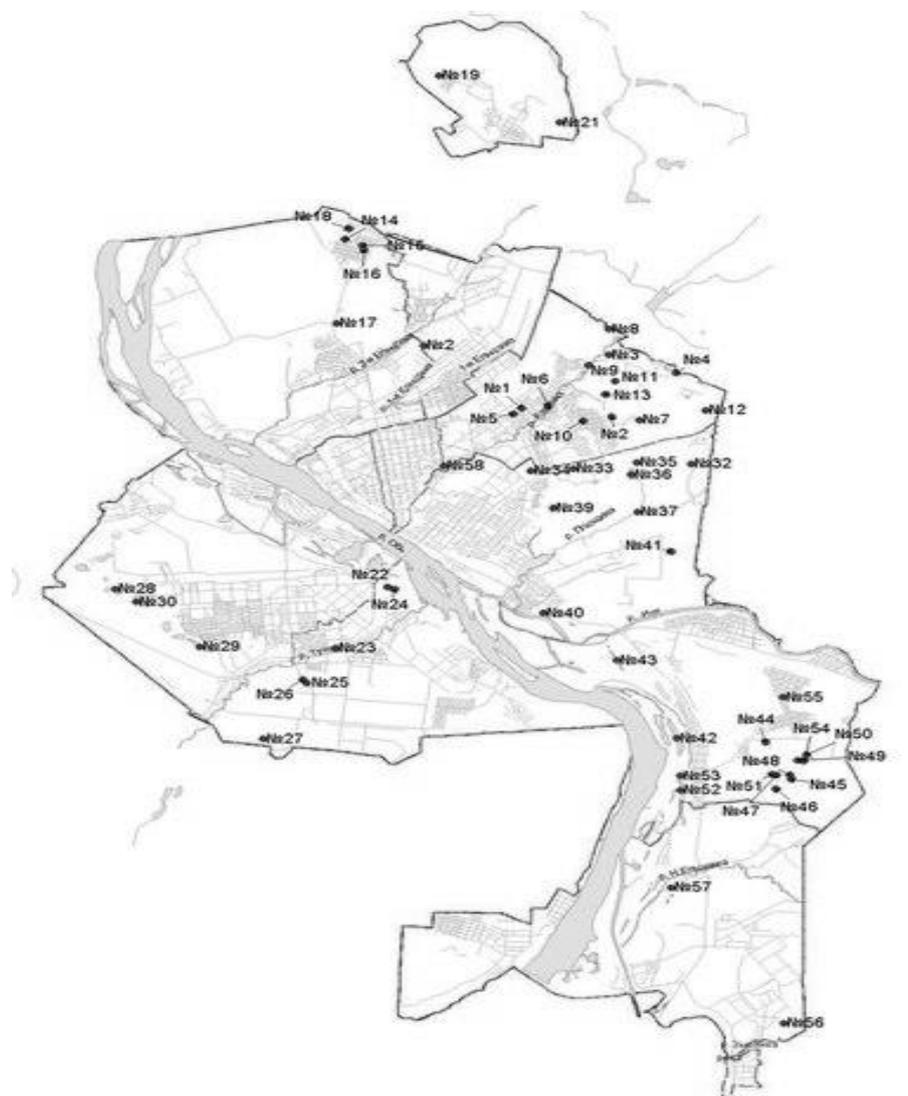


Рис. 1 – Схема расположения водоемов

Отбор проб снега и расчеты степени его загрязнения выполнялись в 2015 и 2016 годах. Пробы отбирались из шурфов, вскрывающих всю толщу снегового покрова. Анализ проб снега выполнен в аккредитованной Новосибирской городской специализированной инспекции аналитического контроля Новосибирского городского комитета охраны окружающей среды и природных ресурсов. Аналитические работы выполнялись атомно-эмиссионным, гравиметрическим, потенциометрическим и флуориметрическим методами, в соответствии с методическими рекомендациями и техническими требованиями [4]. В пробах снега были определены следующие показатели: рН, нефтепродукты, взвешенные вещества, металлы (медь, алюминий, хром, цинк, свинец, кадмий, никель, марганец, железо).

Загрязнение снежного покрова с водосборной площади выбранных водных объектов оценивалось по концентрации загрязняющих веществ в снеговой воде и суммарному показателю загрязнения снега тяжелыми металлами (Z_c).

Расчет суммарного показателя загрязнения проводили по следующим формулам:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_c - (n - 1) \quad (1.1)$$

где K_c – коэффициент концентрации, который рассчитывается как отношение содержания элемента в исследуемом объекте C к среднему фоновому содержанию C_f ;

n – число учитываемых аномальных элементов, в которых величина $K_c > 1,5$.

Фоновые концентрации загрязняющих веществ в снеге были взяты в трех точках, расположенных в 5-и км на северо-запад от Ордынской и 400 м от Толмачевской трассы.

Для оценки степени загрязнения снежного покрова тяжелыми металлами были использованы показатели из таблицы 1.

Водородный показатель рН во всех пробах был близок к фоновому значению. Концентрация взвешенных веществ за период исследования превышала фоновую концентрацию в среднем в 3-4 раза, наибольшее превышение наблюдалось в пробе №1 (в 4,5 раза), взятой с водосборной площади озера «Верховое». Такое содержание взвешенных веществ объясняется расположением водоема (в 100 м от крупной автомагистрали (ул. Ипподромская)) и наличием действующего снегоотвала. Содержание нефтепродуктов во всех пробах меньше или равно фоновому значению.

Таблица 1 - Уровни загрязнения снежного покрова тяжелыми металлами. [3]

Уровень	Суммарный показатель загрязнения снежного покрова Zc
Незагрязненный	<32
Низкий	32-64
Средний	64-128
Высокий	128-256
Очень высокий	>256

Показатель Zc для водоема №1 составил 25,7 - "незагрязненный". Водоем представляет собой практически полностью затопленный карьер на пересечении улиц Волочаевская и Репина (Дзержинский район). Антропогенное воздействие на прибрежную зону высокой интенсивности: вплотную к водоему подходят частные домовладения с локальной канализацией (без очистки), а на расстоянии нескольких десятков метров расположены гаражи, шиномонтажная мастерская, автомойка, стоки которой попадают в водоем.

Показатель Zc для водоема №3 составил 16,9 - "незагрязненный". Водоем представляет собой пруд в районе садового общества «Зеленая горка» (Дзержинский район). Антропогенное воздействие на прибрежную зону высокой интенсивности. По берегам водоема участки садового общества. Со стороны Каменского шоссе прилегает территория промышленного предприятия. В 50 м пролегает автомагистраль. Пляжи отсутствуют. Скопления отходов, свалок, мест отвода стоков не обнаружено. По берегам незначительное количество бытового мусора.

Показатель Z_c для водоема №5 составил 32,9 - "низкий". Водоем представляет собой безымянный обводненный карьер расположенный в непосредственной близости от Дома культуры имени Чкалова (Дзержинский район). Антропогенное воздействие на прибрежную зону высокой интенсивности. Берега водоема и урез воды захламлены бытовым мусором, образующим свалки, плотно застроены металлическими гаражами, малоэтажными строениями, заборами. С юго-западной стороны водоема проходят трубы большого диаметра (вероятно, теплотрасса и холодное водоснабжение).

Показатель Z_c для водоема №9 составил 16,9 - "незагрязненный". Водоем представляет собой безымянный пруд на ул. Пойменная 1 (Дзержинский район). Антропогенное воздействие на прибрежную зону средней интенсивности. Вплотную к водоему подходит шоссе (с северной стороны) и садовые участки. Осуществляется водозабор. Пляжи отсутствуют. Скопления отходов, свалок, мест отвода стоков не обнаружено. Берега загрязнены бытовым мусором.

Показатель Z_c для водоема №22 составил 35,7 - "низкий". Водоем располагается в живописной пойме р. Оби в районе школы сноубординга (Ленинский район). Это обводненный карьер длиной 250 м. Антропогенное воздействие на прибрежную зону низкой интенсивности. На расстоянии 50 м расположены бугельные подъемники школы сноуборда, осуществляется водозабор. Оборудованные пляжи отсутствуют, но несмотря на это активно используются горожанами для отдыха, результатом чего становится значительное количество бытового мусора.

Показатель Z_c для водоема №39 составил 18,6 - "незагрязненный". Водоем представляет собой большой пруд в районе садового общества "Рассвет" (Октябрьский район). Западный берег водоема занят садовыми участками. На восточном берегу – отдельные одноэтажные строения. На водоеме имеется пост спасателей. Скопления отходов, свалок, мест отвода стоков не обнаружено.

Показатель Z_c для водоема №58 составил 22,1 - "незагрязненный". Расположен в Центральном районе города (на пересечении улиц Селезнева и

Романова). Это обводненный карьер, обозначенный на некоторых картах как озеро «Верховое». Антропогенное воздействие на прибрежную зону можно оценить как достаточно интенсивное. На расстоянии 50 м от северного берега начинается застройка частными неблагоустроенными одноэтажными домами. В 100 м пролегает автомагистраль (ул. Ипподромская), а непосредственно к водоему примыкает площадка для стоянки крупной строительной и автодорожной техники. Обустроенные пляжи в настоящее время отсутствуют, однако имеется спасательный пост.

Показатель Z_c для оз. Спартак составил 20,7 - "незагрязненный". **Озеро Спартак** расположено в районе 5-го микрорайона Снегири, его акватория непосредственно примыкает к городской черте (Калининский район). Из озера Спартак вытекает река Ельцовка-2.

Таким образом, загрязнение снежного покрова по всем рассматриваемым показателям можно оценить как невысокое. Однако, на исследуемых водных объектах, наблюдаются превышения по сравнению с фоновыми значениями таких показателей как: взвешенные вещества, медь, алюминий, цинк, марганец и железо. Так, например, содержание железа во всех пробах превышает фон в более чем в 7 раз, алюминия - в 8 раз. Следовательно, неизбежно попадая с водосборных площадей в замкнутые водные объекты, металлы оказывают влияние на качество воды и продуктивность экосистем. Для более детального изучения необходим совместный отбор проб снега и воды в малых водоемах.

Литература

1. Бучельников М.А. Гидроэкологические проблемы водоемов города Новосибирска: монография / М.А. Бучельников, А.А. Перфильев, В.А. Седых, О.В. Спиренкова, А.С. Тушина. – Новосибирск.: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2014. – 88 с.
2. Рощина Е.В. Гидроэкологические проблемы малых рек города Новосибирска: монография / Рощина Е.В., Сидорова М.Ю., Тарасенко С.Я., Шамова В.В. – Новосибирск: Сибир. гос. унив. водн. трансп., 2016. – 183 с.
3. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве (утв. Главным государственным санитарным врачом СССР 15 мая 1990 г. № 5174-90). – М.: ИМГРЭ, 1990.
4. Оценка состояния атмосферного воздуха г. Новосибирска на основании снеговой съемки зимнего сезона 2003-2008 гг. – Новосибирск, 2004. – 59 с.

ФОРМИРОВАНИЕ САПРОПЕЛЕЙ МАЛЫХ ОЗЕР ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Страховенко В.Д.¹, Овдина Е.А.¹, Ермолаева Н.И.², Зарубина Е.Ю.²

¹ *Институт Геологии и Минералогии СО РАН, г. Новосибирск, Россия*

² *Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия*

e-mail: strahova@igm.nsc.ru

Аннотация. Изучены процессы миграции и концентрирования макро- и микроэлементов при осадкообразовании в малых континентальных озерах различных ландшафтных зон юга Западной Сибири. Дана количественная оценка изменения регионального геохимического фона в сапропелевых отложениях за последние 200 лет. Установлено, что основополагающую роль в формировании геохимического и минерального состава донных отложений малых озер различных ландшафтных зон юга Западной Сибири играют сложные природные процессы, определяющиеся совокупностью азональных факторов: образованием седиментационного материала на водосборе озера в зависимости от рельефа, геологии, почвенного и растительного покрова и хозяйственной деятельности человека; формированием аутигенного органического и минерального вещества в результате биологических, биохимических и физико-химических процессов; осаждением сложной смеси аллохтонного и автохтонного вещества на дно озера, протекающие в условиях длительного ледостава (в анаэробных условиях).

Ключевые слова: малые озера, юг Западной Сибири, сапропелевые отложения, геохимия

FORMATION OF SAPROPELS IN SMALL LAKES OF THE SOUTH OF WESTERN SIBERIA UNDER ANTHROPOGENIC IMPACT

Strakhovenko V. D.¹, Ovdina E.A.¹, Ermolaeva N.Iv.², Zarubina E.Yu.²

¹ *The V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia*

² *Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia*

e-mail: strahova@igm.nsc.ru

Abstract. Processes of migration and concentration of the macro - and microelements during sedimentation in small inland lakes of different landscape zones of the South of Western Siberia are studied. A quantitative assessment of change of regional geochemical background in sapropelic deposits for the last 200 years is given. It is found that the fundamental role in the formation of geochemical and mineral structure of bottom deposits in small lakes of different landscape zones of the South of Western Siberia belongs to the complex natural processes, which are defined by such azonal factors as the formation of sedimentary material at the lake catchment, depending on geomorphological landscape, soil and vegetable cover and human economic activity; the formation of authigenic organic and mineral substance as a result of biological, biochemical, physical and chemical processes; sedimentation of complex mixture of allochthonic and autochthonic substances during the long-standing ice formation (in anaerobic conditions).

Keywords: small lakes, South of Western Siberia, sapropelic deposits, geochemistry

Западная Сибирь богата малыми озерами, исследование которых дает неоценимую информацию о прошлых природно-климатических обстановках регионального и планетарного уровня с разрешением от года до столетий и возможность оценить их экологическое состояние в условиях развивающейся хозяйственной деятельности человека как на водосборном бассейне, так и в самих озерах. Донные отложения озер являются носителем наиболее полной информации об истории развития водоемов и содержат в себе подлинную летопись важнейших процессов, которые происходили на протяжении всей истории озера. Стратифицированное изучение донных отложений и сравнение верхних (субаквальных слоев 0-20 см) с более глубоко залегающими горизонтами осадка позволяет выявить изменения в поступлении элементов с учетом их перераспределения, происходящие на начальной стадии диагенеза.

Целью настоящей работы является изучение процессов миграции и

концентрирования макро- и микроэлементов при осадкообразовании в малых континентальных озерах различных ландшафтных зон юга Западной Сибири и количественная оценка изменения регионального геохимического фона в сапропелевых отложениях за последние 200 лет.

Объектами исследования послужили 84 малых континентальных озера, расположенные в разных ландшафтных зонах юга Западной Сибири (рис.1).



Рис.1 – Схема точек пробоотбора озерных систем юга Западной Сибири

Основными компонентами озерных экосистем являются вода, живое вещество, атмосферные аэрозоли, почвы водосборных площадей и донные отложения. Климат и рельеф являются ведущими факторами природной среды, оказывающими первостепенное влияние на характер и количество озер в той или иной ландшафтной зоне. Минерализация вод озер является наиболее нестабильным параметром и подвержена наибольшему влиянию климата. [1]. Исследуемые озера расположены в различных зонах минерализации поверхностных вод, ландшафтных зонах и для удобства сравнения различных серий водоемов между собой, авторами они объединены в различные выборки по ландшафтным зонам: зоне южной тайги (9 озер), лесостепной зоны Барабинской низменности (32 озера), степной зоны Барабинской низменности (18 озер), сухостепной зоны Кулундинской равнины (16 озер) и зона реликтовых ленточных боров, расположенных в Кулундинской равнине (14 озер). Важность применения ландшафтного подхода при изучении процессов взаимоотношений человечества с

географической средой и выделения ландшафтных макрорегионов обсуждается в работах многих авторов.

При проведении исследований применялись *принцип сплошного отбора проб*, который в изучении озерных отложений имеет значительное преимущество при получении более достоверной и детальной информации о происходивших в прошлом изменениях природной среды, а также *принцип комплексности* в обработке образцов донных отложений, то есть привлечение максимально возможного количества разнообразных методов и анализов. В полевых условиях **отбор проб воды** на все анализы производился по стандартным методикам [ГОСТ 31861, 2012]. **Для отбора проб донных отложений** по [ГОСТ Р 54519, 2011]: место опробования выбирали вдали от населенных пунктов или на максимальном удалении от них, если они расположены в береговой зоне водоема, с участков донных отложений, исключающих перемешивание в результате антропогенной деятельности. При помощи цилиндрического пробоотборника с вакуумным затвором конструкции НПО «Тайфун», Россия (диаметр 82 мм, длина 120 см), отбиралась колонка донных отложений. Керн донных отложений опробовался послойно с шагом 3 или 5 см, в зависимости от плотности осадка на глубину от 50 до 250 см. Осадок непосредственно после отбора взвешивался и далее высушивался до воздушно-сухого состояния в лабораторных условиях. **Отбор почвенных проб** осуществляется металлическим кольцом на глубину всего почвенного разреза. Дальнейшие исследования химического состава проб воды, почв и донных отложений проходили в Центре коллективного пользования научным оборудованием для многоэлементных и изотопных исследований СО РАН (ЦКП МИИ СО РАН), лаборатория геохимии редких, благородных элементов и экогеохимии ИГМ СО РАН. В лабораторных условиях автором проведена пробоподготовка различных компонентов 84 озерных систем: (119 проб поверхностной озерной воды, для анализа методами атомно-адсорбционного и сцинтилляционной γ -спектрометрии подготовлены 47 почвенных профилей

(в среднем 8 проб в разрезе), 111 донных скважин (в среднем 20 проб в разрезе), 104 пробы гидробионтов, горные породы ложа озер – (84 проб). 212 проб донных осадков изучены с помощью растровой электронной микроскопии. Минеральный состав изучен в 114 пробах донных осадков и 34 пробах почв рентгеноструктурным анализом и во всех остальных - минералогическими методами.

Аналитические данные по макро- и микросоставу донных отложений озер и почв их водосборных площадей, усреднены по различным ландшафтным зонам. Для почв эти значения сопоставимы с данными для почв Западной Сибири [4] и средним значением для почвы континентов [6] по таким элементам как Mg, Ca, K, Sr, Ba, Pb, Cu, Zn, Co, Be. Средневзвешенные значения содержаний микроэлементов в почвах близки к средним для почвообразующих пород [3]. Проведя сравнение концентраций элементов в выборках почв разных ландшафтных зон, можно утверждать, что за исключением кальция по всем изученным элементам вариация содержаний не превышает величину среднее арифметическое $\pm 3\sigma$ (три стандартных отклонения).

Сопоставление концентраций элементов в донных осадках озер различных ландшафтных зон юга Западной Сибири с составом верхней континентальной коры показало избыточное накопление в процессе современного осадкообразования Ca, Cr, Ni, Cu, Cd, Sb и значительное обеднение Be, K, Al, Si, Ti, Th, Ba, а также Fe, Co (рисунок 2). Выявленное постепенное обогащение донных отложений с севера на юг Ca, Sr, Mg, Na, Li, U связано с накоплением в илах карбонатов, а также с общеизвестными изменениями ионного состава и значений общей минерализации озерных вод юга Западной Сибири от зоны южной тайги к сухостепной ландшафтной зоне. Установлена меридиональная зональность уменьшения (т.е. обратная) в донных отложениях с севера на юг Cu, Zn, Cd, Sb, накопление которых в основном связано с количеством органического вещества в илах.

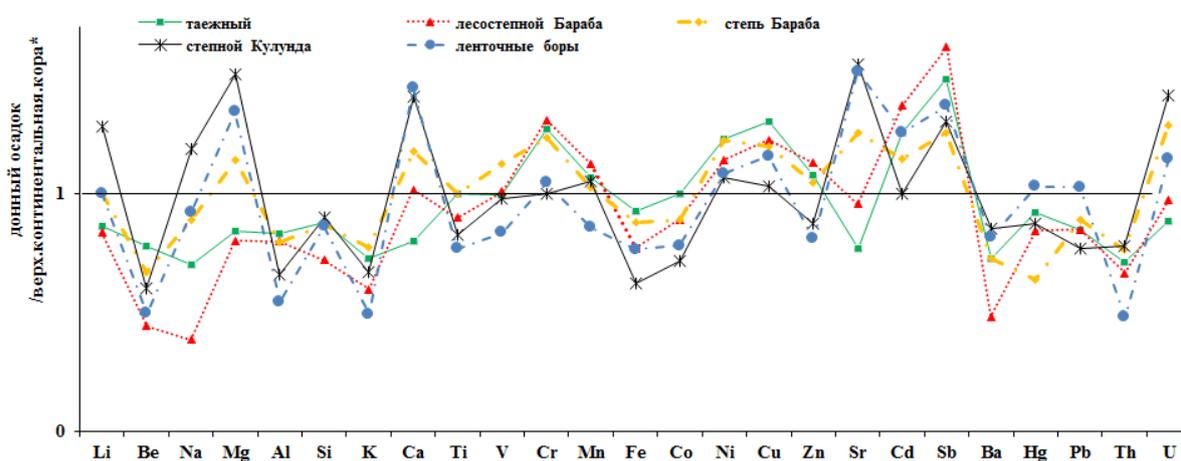


Рис.2 – Усредненные содержания элементов в донных осадках озер нормированные к значениям концентраций верхней континентальной коры* [8] из различных ландшафтных зон Сибири

Сравнение данных по средневзвешенным значениям содержаний изученных элементов в донных осадках озер Сибири и почв их водосборных площадей показало, что в донных осадках зафиксированы более высокие концентрации Sb в осадках озер всех ландшафтных зон, а также Ca, Mg, Sr за исключением степного и Cd – лесостепного ландшафтов Барабы (рисунок 3). Для остальных элементов влияние ландшафтных условий на формирование геохимического состава донного осадка в зависимости от состава почв водосборных площадей не прослеживается. Малые озера различных ландшафтных зон юга Западной Сибири имеют заметные различия в геохимическом и минералогическом составе донных отложений, относительно почв водосборных площадей и они сопоставимы с аналогичными внутри одной ландшафтной зоны. Это свидетельствует о преобладании эоловой формы переноса с площадей водосбора в озера минеральной компоненты.

Основополагающую роль в формировании геохимического и минерального состава донных отложений малых озер различных ландшафтных зон юга Западной Сибири играют сложные природные процессы, определяющиеся совокупностью азональных факторов.

Разные минеральные типы донных осадков озер отличаются не только посвоему макросоставу, но и по содержанию ряда микроэлементов.

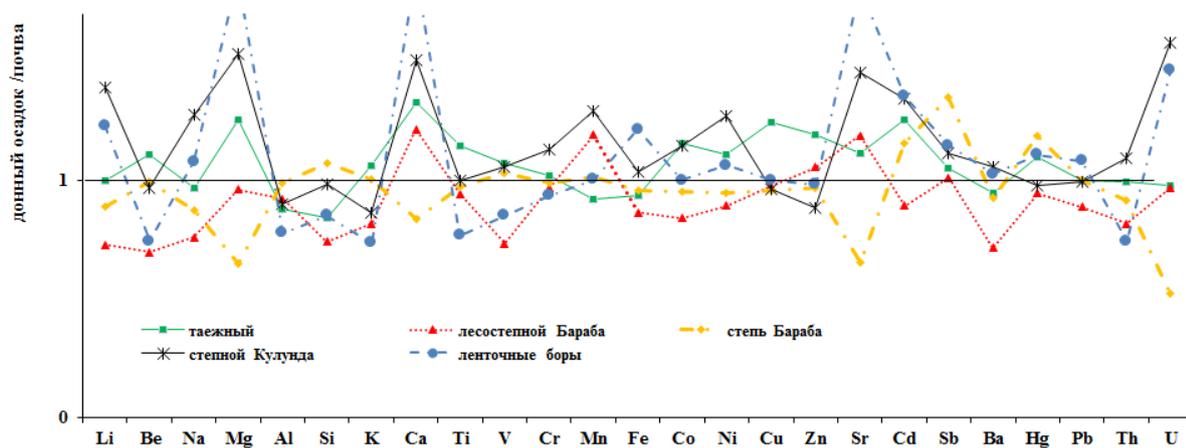


Рис.3 – Усредненные содержания элементов в донных осадках озер нормированные к значениям в почвах их водосборных площадей из различных ландшафтных зон Сибири

Согласно полученным данным, основной избыток Ca, Sr, Mg в современных донных отложениях связан с карбонатными отложениями. Высокие концентрации Cd, Sb отмечаются во всех органогенных осадках, а также иногда в сухостепной зоне в озерах с карбонатным типом осадка, например, озера системы Танатар, где концентрация кадмия в 3-4 раза выше фонового показателя для этой территории (оз. Танатар-4, 5, Демкино, Кочковое и др.), осадки оз. Бурлинское.

Вертикальное распределение изученных микроэлементов в почвенных профилях характеризуется равномерностью с общей тенденцией хаотичного изменения значений в пределах меньше одного стандартного отклонения. При этом содержания в верхних горизонтах не превышают значений для нижних интервалов. Элементами с отчетливо выраженным характером повышения концентраций от нижних к верхним почвенным горизонтам являются Cd и Hg во всех ландшафтных зонах Сибири [3].

Вертикальное распределение радионуклидов в донных отложениях отдельно взятых озер и малых озер разных ландшафтных зон разобрано автором совместно с коллегами в целом ряде статей [2].

Анализ вертикального распределения макро и микроэлементов в обобщенных колонках изученных озер по ландшафтным зонам юга Западной Сибири позволяет выделить три типа разрезов (рисунок 4).

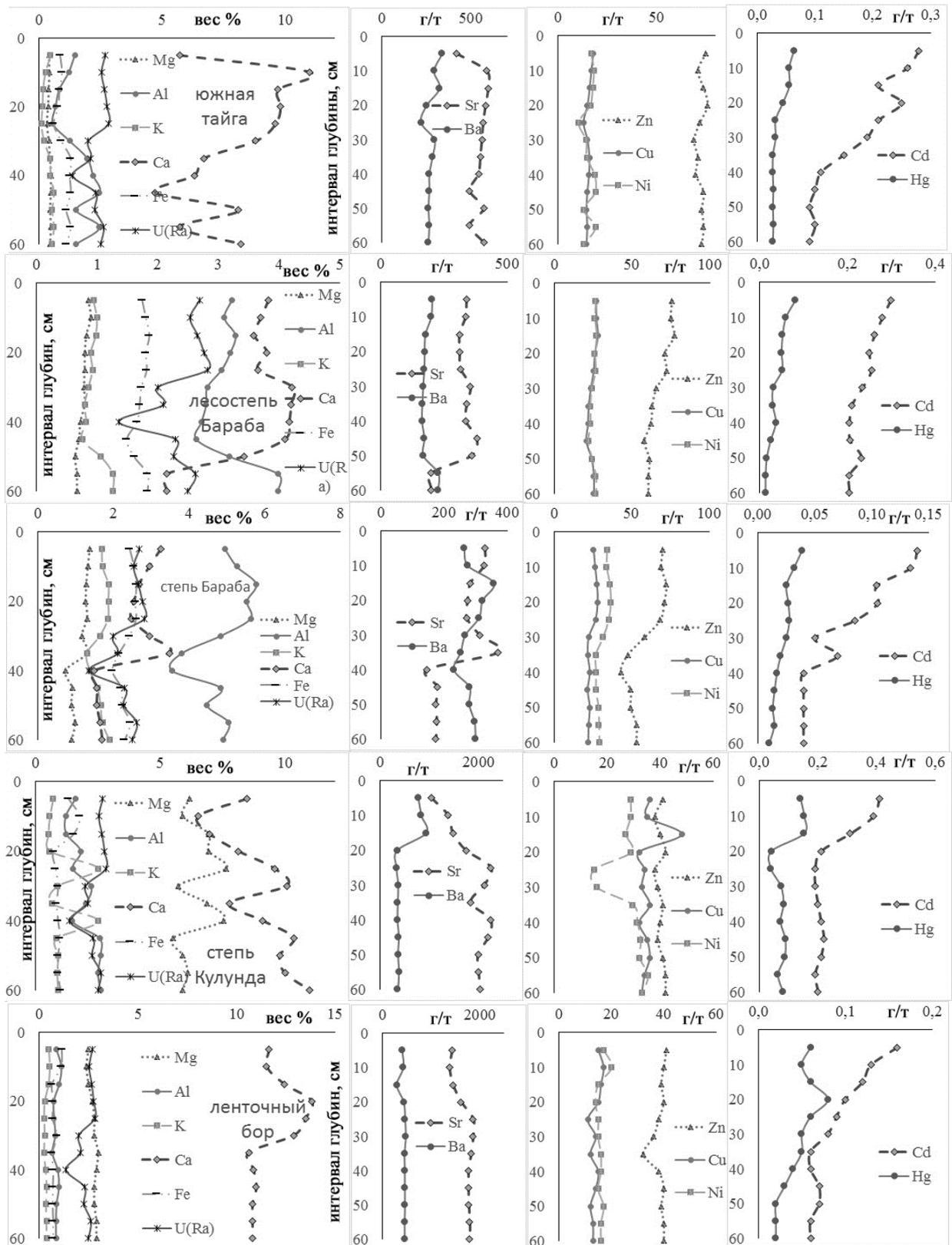


Рис. 4 – Вертикальное распределение усредненных содержаний макро (%) и микроэлементов (мг/кг) в разрезах донных осадков из различных ландшафтных зон юга Западной Сибири

В первом случае верхние и нижние горизонты донных отложений практически не отличаются по содержаниям большинства изученных

элементов (Cu, Cr, Ni, Co, Mg, Be, Sb, V, Li, и другие). Примером такого распределения компонентов в осадках служит огромное количество озер, в непосредственной близости от которых нет ни населенных пунктов, ни промышленных производств. Второй тип распределения установлен для главных породообразующих элементов, зависящих от минерального типа донного осадка Ca, Al, Sr, Ba и в меньшей степени Si, K. Распределения Ca, Sr (зависит от присутствия карбонатов) и Al, Ba (определяется количеством полевых шпатов, обломочных силикатов) изменяются закономерно в противоположной зависимости и их тренд определяется соотношением биохемогенного карбоната и минералов терригенной фракции в формирующемся донном осадке конкретного озера, независимо от ландшафтных условий. Третий тип распределения отмечается для Cd, Hg и в степной зоне Барабы для Zn - к границе раздела сред «донный осадок-вода» концентрации их увеличиваются, особенно резко для Cd.

Считается, что вариации в распределении микроэлементов в вертикальном разрезе донных осадков обусловлены как естественными, так и антропогенными факторами. Из естественных причин главной являются различия в литологическом составе, что и подтверждается распределением Ca, Al, Sr, Ba, Si, K. Анализируя аналитические данные по донным отложениям озер с резкой или постепенной сменой минерального типа осадка, можно отметить закономерность в распределении только для ограниченного круга элементов. Органогенная фракция осадка содержит более высокие концентрации Cd, Zn, Mn, иногда U и Pb, и обеднена Mg и Na. Карбонатная часть осадка отличается резко повышенными содержаниями Ca и Sr, иногда Mn и Mg. Терригенная фракция осадка, которая в малых озерах юга Западной Сибири на 80% представлена полевыми шпатами (плагиоклазами кислого и среднего состава, кпш), кварцем, слюдами (мусковитом, биотитом) высокими содержаниями Si, Al, K, Ba, Na, иногда Mg, Fe. Все остальные элементы либо практически не меняют тренд содержаний в профилях донных илов, либо смена происходит хаотично. Значимо более высокие содержания Cd и иногда Hg в верхней части

профилей донных осадков и почв их водосборных площадей относительно нижележащих горизонтов, можно попытаться объяснить естественными причинами, а именно их связью с полиамидами фульвокислот органического вещества. Из всех химических элементов Cd и Hg обладают максимальной способностью к ковалентному связыванию с белками. Изменчивость форм существования кадмия в процессе миграции запрограммирована способностью Cd легко менять свое состояние под воздействием факторов среды [6]. Поэтому, при разложении органического вещества Cd и Hg попадают в поровые воды и включаются снова в миграционный процесс. Работы по изучению поведения кадмия в компонентах природной среды показали, что пока не нарушен баланс естественных геохимических процессов, геохимия кадмия близка к природной и проявляется его сродство с цинком и ртутью [6, 7].

Следовательно, в разрезах донных осадков с увеличением содержаний Cd должно фиксироваться увеличение и Zn к границе вода-донный осадок, чего практически не наблюдается, за исключением степной зоны Барабинской равнины. Следовательно, вероятной причиной высоких концентраций Cd и иногда Hg служит антропогенное загрязнение.

Обобщение материалов по распределению элементов в сопряженных компонентах малых озерных систем выявляет характер изменения поступающего вещества в донные отложения, источники вещества, влияющие на минеральный состав осадка, а также основные факторы, определяющие количественные концентрации элементов в нем.

Обобщая данные по распределению изученных элементов в донных отложениях озер с учетом минерального типа осадка и общей минерализации воды, можно утверждать, что основополагающую роль в формировании геохимического и минерального состава донных отложений малых озер различных ландшафтных зон юга Западной Сибири играют сложные природные процессы, определяющиеся совокупностью азональных факторов: образованием седиментационного материала на водосборе озера в зависимости от рельефа, геологии, почвенного и растительного покрова и

хозяйственной деятельности человека; формированием аутигенного органического и минерального вещества в результате биологических, биохимических и физико-химических процессов; осаждением сложной смеси аллохтонного и автохтонного вещества на дно озера, протекающие в условиях длительного ледостава (в анаэробных условиях).

Анализ вертикального распределения радионуклидов и микроэлементов в обобщенных колонках донных осадков изученных озер по ландшафтными зонам юга Западной Сибири позволяет выделить два типа разрезов. В первом случае, верхние и нижние горизонты донных отложений практически не отличаются по содержаниям большинства изученных элементов (Cu, Zn, Cr, Ni, Co, Mg, Be, Sb, Mn и другие). Другой тип распределения отмечается для Cd, и иногда Hg, - в большинстве разрезов в верхней части концентрации их увеличиваются. Полученные данные позволяют утверждать об увеличении антропогенной нагрузки в региональном масштабе на континентальные озерные системы Сибири на протяжении последних 50 лет.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-05-00132.

Литература

1. Страхов Н.М. Избранные труды. Осадкообразование в современных водоемах. – М.: Наука, 1993. – 396 с.
2. Страховенко В.Д., Щербов Б.Л., Маликова И.Н., Восель Ю.С. Закономерности распределения радионуклидов и редкоземельных элементов в донных отложениях озер Сибири // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51. – № 11. – С. 1501-1514.
3. Страховенко В.Д. Геохимия донных отложений малых континентальных озер Сибири // Автор. Дис. на д. г.-м. н. Новосибирск, 2011. – 306 с.
4. Сысо А.И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири / Рос. Акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. – 277с.
5. Техногенез и биохимическая эволюция таксонов биосферы. – М.: Наука, 2003. – 351с.
6. Ярошевский А.А. Проблемы современной геохимии: Конспекты лекций // – Новосибирск: Новосиб. Гос. Ун-т, 2004. – 194с.
7. Kabata-Pendias Alina. Trace elements in soils and plants. – by CRC Press LLC: Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, 2001. – 325 pp.
8. Wedepohl K.H. The composition of the continental crust // Geochim. Et Cosmochim. Acta. – 1995. – V.59. – №7. – P.1217-1232.

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КАРБОНАТНОЙ СИСТЕМЫ Р. РАЗДОЛЬНОЙ (ПРИМОРСКИЙ КРАЙ)

Тищенко П.Я., Михайлик Т.А., Павлова Г.Ю., Тищенко П.П.

Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, г. Владивосток, Россия

e-mail: tpavel@poi.dvo.ru

Аннотация. Для четырех сезонов на восьми станциях исследована карбонатная система р. Раздольной. При изучении карбонатной системы использовались три измеряемых параметра – рН (ячейка безжидкостного соединения), общая щелочность (метод Бруевича), органическая щелочность и константы угольной кислоты, рассчитанные методом Питцера. Установлено, что кислотно-основное равновесие в реке определяется карбонатным равновесием и содержанием гумусового вещества. Значимость гумусового вещества на карбонатное равновесие возрастает с увеличением расхода реки. Были рассчитаны годовые потоки щелочности ($1.33 \cdot 10^9$ молей) и гумусового вещества ($9.90 \cdot 10^6$ кгС), поставляемые рекой Раздольной в Амурский залив. Экспорт углекислого газа рекой Раздольной равен потоку щелочности и не зависит от механизма выветривания.

Ключевые слова: Карбонатная система, речные воды, метод Питцера, химическое выветривание, река Раздольная

SEASONAL VARIABILITY OF CARBONATE SYSTEM OF RAZDOLNAYA RIVER (PRIMORSKY KRAI)

P. Ya. Tishchenko, T. A. Mikhailik, G. Yu. Pavlova, P. P. Tishchenko

Pacific Oceanological Institute FEBRAS, Vladivostok, Russia

e-mail: tpavel@poi.dvo.ru

Abstract. The paper suggests an accurate approach to studying carbonate system in the water of the Razdolnaya River. The approach involves measuring pH by Pitzer's scale, using a cell without liquid junction; measuring the total alkalinity by Bruevich's method; using of apparent constants of carbonate equilibrium derived by Pitzer method; taking into account of the organic alkalinity. Carbonate system of Razdolnaya River was investigated at eight sites during all four seasons. Effect of nutrients on carbonate system is insignificant. The humic substances play important role with increasing of river discharge. The fluxes of alkalinity and humic substances annually brought by the Razdolnaya River into Amursky Bay are evaluated at 1.33×10^9 mol and 9.9×10^6 kgC, respectively. The carbon dioxide export with the Razdolnaya River is equal to the alkalinity flux and does not depend on the weathering mechanisms.

Keywords: carbonate system, river waters, Pitzer method, chemical weathering, Razdolnaya River

Карбонатная система широко используется в качестве инструмента для изучения процессов синтеза/разложения органического вещества, образование/растворения карбонатных минералов, газообмена на границе воздух/вода и ацидификации в океанах и морях. Подобные исследования не столь интенсивны для речных экосистем. Хотя важность направления этих работ очевидна, особенно в связи с ролью углекислого газа в химическом выветривании почв и пород, слагающих бассейны рек [3], экспорта щелочности в морские бассейны [7] и речного транспорта атмосферного углекислого газа [5]. Недостаточная методическая проработка измерения параметров карбонатной системы и их расчет для речных вод ограничивает развитие этого направления для лимнологических экосистем.

В работе предлагается подход корректного изучения карбонатной системы речных вод, включающий: 1) измерение рН с помощью ячейки безжидкостного соединения на основе шкалы Питцера [6], 2) измерение щелочности (ТА) по методу Бруевича, 3) использование кажущихся констант карбонатного равновесия для состава речных вод, рассчитанных по методу Питцера [6], 4) расчет параметров карбонатной системы с учетом органической щелочности. Была исследована сезонная изменчивость карбонатной системы нижнего течения р. Раздольной.

Материалы и методы

В 2008 г. мы провели гидрохимическое исследование вод реки Раздольной в разные сезоны на 8 станциях от с. Полтавка до с. Раздольное. В пробах воды были определены: электропроводность, рН, ТА, концентрации кислорода, главных биогенных веществ (силикатов, фосфатов, нитритов, нитратов и аммония), гумусового вещества, хлорофилла *a*, макрокомпонентов (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , SO_4^{-2} , Cl^- , общей минерализации), а также содержание взвешенного вещества и растворенного органического углерода. На каждой станции измерены температура, электропроводность, мутность и флуоресценция хлорофилла с помощью зонда RBR-620XR.

Для расчета карбонатной системы речных вод ($\text{pH}_{\text{in situ}}$, DIC – Dissolved Inorganic Carbon, pCO_2 – парциальное давление углекислого газа) необходимы измеряемые параметры (рН, ТА, органическая щелочность – ОА) и кажущиеся константы карбонатного равновесия.

Кажущиеся константы карбонатного равновесия рассчитывались с помощью метода Питцера [6] для раствора $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ с концентрационным отношением ТА и NaCl 1:1. Этот раствор был принят в качестве модельного, исходя из основного солевого состава воды р. Раздольной. Расчеты констант: K_0^* (коэффициент растворимости углекислого газа), K_1^* (первая константа диссоциации угольной кислоты), K_2^* (вторая константа диссоциации угольной кислоты); Ω_c^* (произведение растворимости

кальцита) и Ω_a^* (произведение растворимости арагонита) проводились для температур 0 – 25 °С и диапазона щелочности 0 – 0.005 моль/кг. Результаты вычислений были параметризованы как функции TA и T в форме эмпирических уравнений:

$$\ln(K_o^* / \text{моль} \cdot \text{кг} \cdot \text{H}_2\text{O}^{-1} \cdot \text{бар}^{-1}) = -5.97508 \cdot 10^1 + 9.34517 \cdot 10^3 T + 2.33585 \cdot 10^1 \ln(T/100) - 3.2874 \cdot 10^{-3} T + 5.380 \cdot 10^{-6} T^2 - TA(2.526 + 1.71 \cdot 10^{-3} T - 3.5 \cdot 10^{-6} T^2 - 546.83/T) \quad (1)$$

$$\ln[K_1^* / \text{моль} \cdot \text{кг} \cdot \text{H}_2\text{O}^{-1}] = -7839.634/T + 34.1784 - 0.0754926 \cdot T + (1.8379 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 - 7.3874 \cdot 10^{-3} \cdot T + 2.4405) \cdot TA^{1/2}/(1 + 3 \cdot TA^{1/2}) \quad (2)$$

$$\ln[K_2^* / \text{моль} \cdot \text{кг} \cdot \text{H}_2\text{O}^{-1}] = -6683.00/T + 14.9622 - 0.0547785 \cdot T + (-0.61035 \cdot T^2 + 340.1986 \cdot T - 4.95104 \cdot 10^4) \cdot TA^{3/2} + (3.806857 \cdot 10^{-2} \cdot T^2 - 21.36983 \cdot T + 3.232849 \cdot 10^3) \cdot TA + (4.915429 \cdot 10^{-3} \cdot T^2 - 2.725583 \cdot T + 389.0445) \cdot TA^{1/2} \quad (3)$$

$$\ln[IP_c^* / \text{моль}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{H}_2\text{O}^{-2}] = -395.8293 - 0.179586 \cdot T + 6537.774/T + 71.595 \ln(T) + (-0.6263857 \cdot T^2 + 349.4996 \cdot T - 5.082472 \cdot 10^4) \cdot TA^{3/2} + (3.954143 \cdot 10^{-2} \cdot T^2 - 22.25148 \cdot T + 3.34034 \cdot 10^3) \cdot TA + (4.966857 \cdot 10^{-3} \cdot T^2 - 2.740566 \cdot T + 398.2737) \cdot TA^{1/2} \quad (4)$$

$$\ln[IP_a^* / \text{моль}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{H}_2\text{O}^{-2}] = -395.918 - 0.179586 \cdot T + 6685.079/T + 71.595 \ln(T) + (-0.6263857 \cdot T^2 + 349.4996 \cdot T - 5.082472 \cdot 10^4) \cdot TA^{3/2} + (3.954143 \cdot 10^{-2} \cdot T^2 - 22.25148 \cdot T + 3.34034 \cdot 10^3) \cdot TA + (4.966857 \cdot 10^{-3} \cdot T^2 - 2.740566 \cdot T + 398.2737) \cdot TA^{1/2} \quad (5)$$

Здесь T – температура в шкале Кельвина. Для модельного раствора рассчитан коэффициент активности иона натрия, $\gamma_{Na}^p(X)$, значения представлены эмпирическим уравнением:

$$\ln[\gamma_{Na}^p(X)] = (-2.50571 \cdot 10^{-5} T^2 + 1.19771 \cdot 10^{-2} T - 3.22359) \cdot TA^{0.5} / (1 + 1.3 \cdot TA^{0.5}) \quad (6)$$

Измерение общей и органической щелочности. Измерения щелочности по методу Бруевича дает воспроизводимость титрования около ± 3 мкмоль/кг.

Органическая щелочность (ОА), обусловленная присутствием в речных водах гумусовых веществ, оценивалась по измерениям концентрации гумусового вещества:

$$OA = f_{HS} \cdot C_{HS} \cdot K_{HS} / (a_H + K_{HS}) \quad (7)$$

Здесь, f_{HS} – множитель перед концентрацией гумусового вещества (получен из расчета: 1 г углерода гумусового вещества дает 18 ммоль

щелочности); $K_{HS} = 10^{-7.3}$ - константа диссоциации гумусового вещества; C_{HS} - концентрация (гС/л) гумусового вещества в пробе определена спектрофотометрическим методом, воспроизводимость измерения концентрации гумусовых веществ составила 2%. Вклад биогенных веществ в общую щелочность был незначительный, поэтому карбонатная щелочность (СА) определялась соотношением:

$$CA = TA - OA. \quad (8)$$

Измерение рН. рН определяли потенциометрическим методом в термостатированных условиях с помощью ячейки безжидкостного соединения (ячейка (А)):

СЭ-Na ⁺	Исследуемый раствор (стандартный раствор)	H ⁺ -СЭ	(А)
--------------------	--	--------------------	-----

ЭДС измеряли с точностью ± 0.1 мВ рН-метром ЕА-720 фирмы "Orion" с двумя высокоомными входами. Измерительными электродами были стеклянные комбинированный рН электрод фирмы "Orion" (OrionTM 8102) и натровый электрод Гомельского завода (ЭСЛ-51-07). Ячейка (А) калибровалась в шкале рН Питцера с помощью буферного раствора TRIS-TRISHCl-NaCl ($m_{TRIS} = m_{TRISHCl} = 0.04$ моль/кг, $m_{NaCl} = 0.01$ моль/кг) [1]. Стандартные значения $p(a_H^P / \gamma_{Na}^P)_S$ для данного состава буферного раствора могут быть рассчитаны по эмпирическому уравнению:

$$p(a_H^P / \gamma_{Na}^P) = 26.8536 - 9.79118 \cdot 10^{-2} \cdot T + 1.17183 \cdot 10^{-4} \cdot T^2. \quad (9)$$

Значения рН_р проб речной воды рассчитывались из измерений ЭДС ячейки (А) в стандартном растворе, $E_A(S)$, и речной воде, $E_A(X)$, по уравнению:

$$pH_p(X) = p(a_H^P / \gamma_{Na}^P)_S + \frac{F[E_A(S) - E_A(X)]}{RT \ln(10)} + \log \left[\frac{m_{Na}(S)}{m_{Na}(X)} \right] - \log[\gamma_{Na}^P(X)], \quad (10)$$

Здесь $m_{Na}(X)$, $- m_{Na}(S)$ - моляльность ионов натрия в речной воде (измерена потенциометрическим методом) и в стандарте (известна из приготовления - 0.01), соответственно; $\gamma_{Na}^P(X)$ - коэффициент активности

иона натрия в речной воде, рассчитывается по уравнению (6) из данных по щелочности и температуры.

Расчет карбонатного равновесия. Существенным моментом в расчете карбонатного равновесия является выбор констант диссоциации, который, в свою очередь, зависит от используемой шкалы рН. Для речных вод этот расчет имеет ряд особенностей. Во-первых, кажущиеся константы карбонатного равновесия были параметризованы как функция общей щелочности и температуры. Во-вторых, рН измерялся в шкале Питцера (ячейка безжидкостного соединения (А)), поэтому кажущиеся константы диссоциации угольной кислоты (уравнения (2), (3)) соответствуют шкале Питцера. В-третьих, воды реки Раздольной содержат высокие концентрации биогенных веществ. Используя известные термодинамические константы диссоциации фосфорной кислоты, кремниевой кислоты и иона аммония, а также концентрации биогенных соединений, итерационной процедурой был учтен их вклад в кислотно-основное равновесие речных вод. Он оказался незначительным.

Результаты и обсуждение

Основная трудность в исследовании карбонатной системы речных вод связана с измерением рН. Как правило, ошибка в измерении этого параметра достигает нескольких десятых единиц рН [4]. Главной причиной грубых ошибок в измерении рН является непредсказуемые изменения потенциала жидкостного соединения в речных водах. По этой причине был предложен метод измерения рН с помощью ячейки (А), в которой отсутствует жидкостное соединение. Совокупность всех погрешностей, связанных с измерением рН дает неопределенность в значениях не более ± 0.02 ед.рН.

Воды реки Раздольной эвтрофированные. Однако, несмотря на высокие содержания биогенных веществ, их влияние на параметры карбонатной системы было незначительным. Как правило, вклад биогенных элементов в общую щелочность был ниже экспериментальной ошибки (0–2 мкмоль/кг). Вклад гумусового вещества в общую щелочность существенный и меняется

от сезона к сезону (рис. 1). Минимальное процентное содержание ОА по отношению к ТА характерно для зимнего сезона и составляет 0.5–1%. Максимальное процентное содержание ОА соответствует летнему сезону (6–8%).

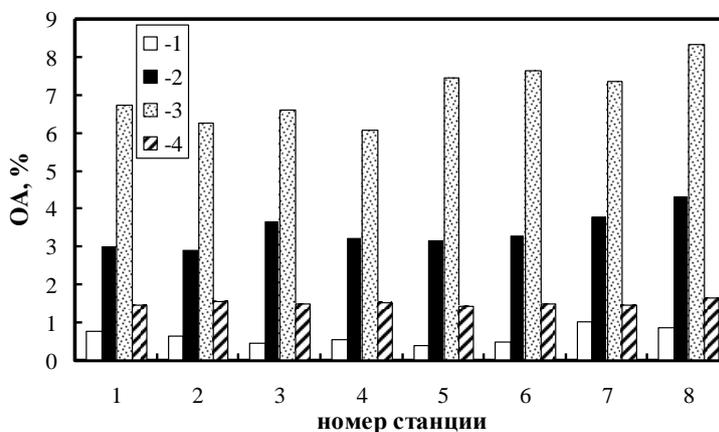


Рис. 1 – Процентное содержание органической щелочности (ОА) от общей щелочности. Река Раздольная, 2008 г. (1 – 13-14 февраля; 2 – 23 апреля; 3 – 29 июля; 4 – 29 октября).

Главная причина в изменчивости вклада ОА в ТА обусловлена сильной зависимостью величины ТА и концентрации гумусовых веществ от расхода реки (рис. 2). Причем, эта зависимость разнонаправленная. Содержание ТА уменьшается с расходом реки в связи с эффектом разбавления речных вод дождями, а концентрации гумусового вещества увеличиваются в связи с увеличением потока почвенных вод в реку во время дождей.

Из распределения параметров карбонатной системы, полученного для разных сезонов на восьми станциях р. Раздольной (рис.3), следует, что сезонная изменчивость карбонатных параметров доминирует над пространственной изменчивостью. Наиболее высокие значения рН (рис. 3а) соответствуют весеннему и осеннему сезонам, что связано с периодами весеннего и осеннего цветения фитопланктона. Для этих сезонов характерны низкие величины pCO_2 . Минимальное значение pCO_2 (66 мкатм) было обнаружено весной на ст. 6, расположенной в г. Уссурийске (рис. 3б). При высоких рН и низких величинах pCO_2 речные воды становятся четырехкратно пересыщены по отношению к кальциту.

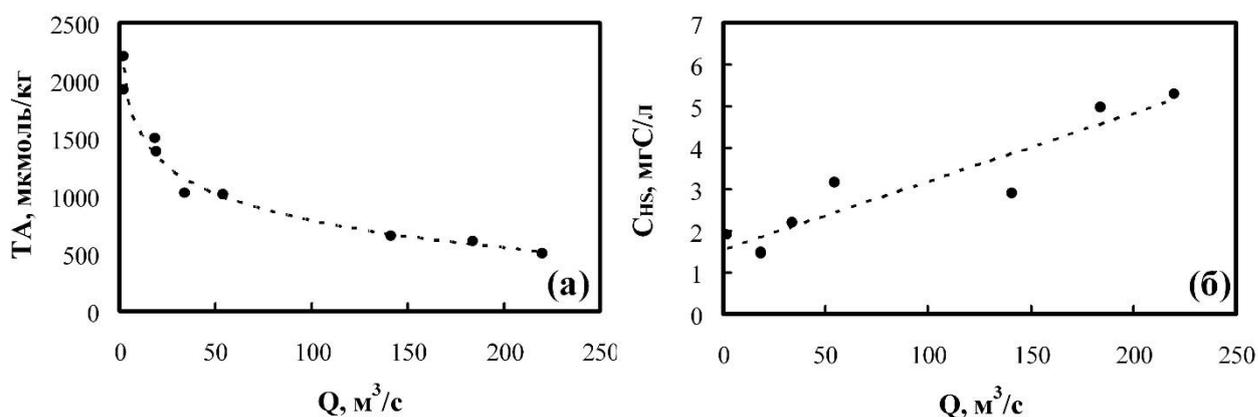
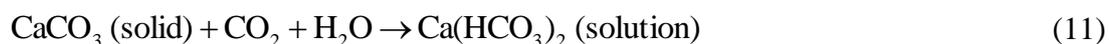
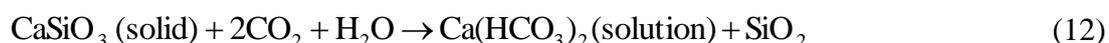


Рис. 2 – Зависимость содержания общей щелочности (ТА) (мкмоль/кг) (а) и концентрации гумусового вещества, СНС, (мгС/л) (б) от расхода реки Раздольной.

Карбонатная система речных вод непосредственным образом связана с химическим выветриванием пород, слагающих бассейн реки, поскольку главным продуктом химического выветривания являются гидрокарбонаты кальция и магния. Простейшим объяснением появления этих продуктов в речных водах является растворение карбонатных минералов, находящихся в ложе реки:



Присутствие заметных концентраций магния часто объясняется выветриванием магнезиального кальцита, либо доломита. Однако сведений о наличии карбонатных пород для данного района нет. Наличие гидрокарбонатов кальция и магния в реке можно объяснить химическим выветриванием силикатных минералов, например:



Химическое выветривание силикатных минералов относительно двуокиси кремния происходит инконгруэнтно. Это означает, что концентрация кремния в речной воде не может быть использована в качестве единственного аргумента при выяснении вопроса о том, выветривание каких видов минералов обеспечивают состав речных вод. Также широко рассматривается химическое выветривание глинистых минералов. Например, превращение Са-плагиоклаза в каолинит поставляет в раствор гидрокарбонат кальция [8]:



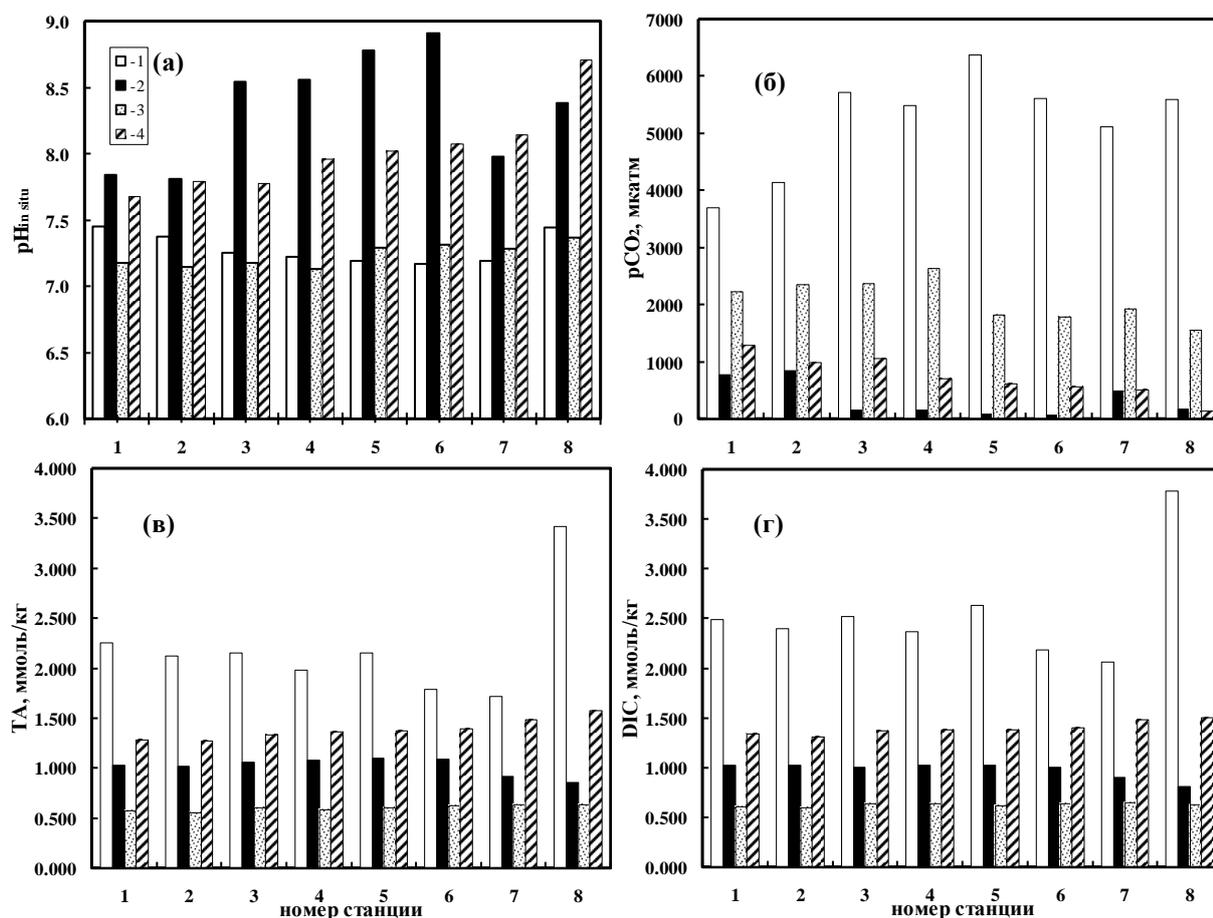


Рис. 3 – Параметры карбонатной системы (а – pH_{in situ}, б – pCO₂, ТА – в, DIC – г) реки Раздольной. (1 – 13-14 февраля; 2 – 23 апреля; 3 – 29 июля; 4 – 29 октября)

Ионообменный состав глинистых минералов зависит от раствора, с которым он непосредственно контактирует, поэтому глинистые минералы выполняют роль “хемостатов” для речных вод, поддерживая постоянство отношений основных компонентов речной воды.

Важным процессом химического выветривания и формирования химического состава речных вод является комплексообразование многозарядных ионов природными комплексонами (гумусовыми веществами, многоосновными органическими кислотами) [3]. На наш взгляд, наиболее важными в этом ряду являются полисахариды (полиуроновые кислоты), такие как альгиновая кислота и ее производных. Мы видим две причины важности этих соединений в формировании состава речных вод: 1) эти соединения синтезируются в клетках фитопланктона, т.е. везде, где есть фотосинтез, поэтому их концентрации выше в эвтрофированных реках; 2) комплексы этих соединений с ионами металлов легко подвергаются

бактериальной минерализации, конечным продуктом которой является гидрокарбонат того металла, с которым образован комплекс. Этот процесс для альгината кальция можно представить следующим образом [2]:



Необходимо отметить, что выветривание минералов через органические комплексоны с последующей их минерализацией объясняет существование гидрокарбонатных вод вне зависимости от минералогического состава водовмещающих пород [3].

Важным вопросом при изучении углеродного цикла являются знания об экспорте щелочности и двуокиси углерода водотоками в приемные бассейны (озера, моря, океаны) [5]. Очевидно, что экспорт растворенного вещества зависит от концентрации вещества и от расхода реки. На рис. 2 показана зависимость содержания ТА и гумусового вещества от расхода реки Раздольной. Нелинейность кривой указывает на возрастание интенсивности химического выветривания с ростом атмосферных осадков. Были получены эмпирические зависимости содержания ТА и концентрации гумусового вещества в реке Раздольной в зависимости от расхода реки:

$$TA(\text{мкмоль/кг}) = 2341 - 337.69 \cdot \ln[Q], \quad (15)$$

$$[HS](\text{мгС/л}) = 1.53 + 0.0165 \cdot Q. \quad (16)$$

В уравнениях (15), (16) значение расхода реки, Q , используется в размерности м³/с. Пунктирные зависимости на рис. 2 рассчитаны с помощью уравнений (15), (16). Из ежедневных расходов реки Раздольной были рассчитаны ежедневные концентрации ТА, гумусового вещества и потоков, J_i , ТА и гумусового вещества в приемный бассейн – Амурский залив.

$$J_i = Q \cdot C_i \quad (17)$$

Ежесуточные потоки щелочности и гумусового вещества приведены на рис. 4а, 4б.

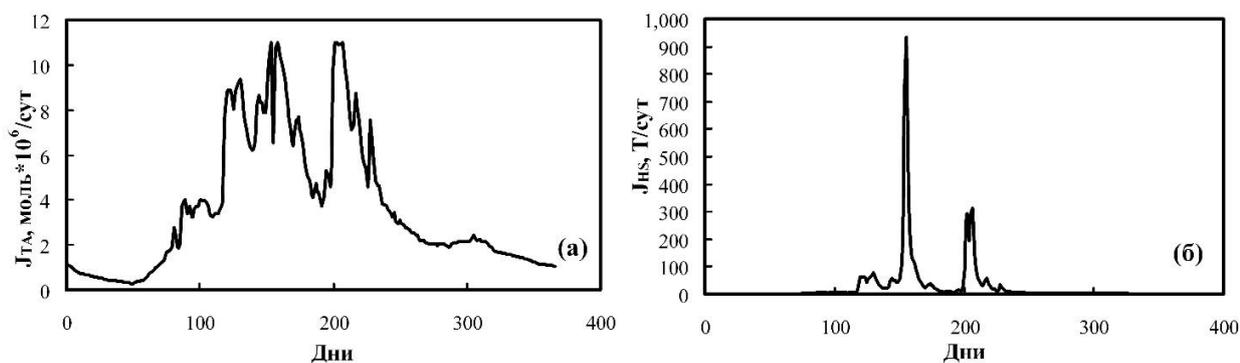


Рис. 4 – Суточные потоки щелочности (моль · 10⁶ / сутки) (а) и гумусового вещества (Т-С/сутки) (б) от расхода реки.

Продуктом химического выветривания является ТА. Этот процесс сопровождается поглощением углекислого газа из атмосферы ([5]; уравнения (11)-(13)). Необходимо отметить, что поток углекислого газа из атмосферы в результате процессов химического выветривания силикатных минералов (схема (12), (13)), либо комплексообразования (схема (14)) в точности соответствует потоку щелочности. В случае растворения карбонатных минералов поглощение атмосферного углекислого газа уменьшается в два раза. Ежегодное поступление щелочности и гумусового вещества в Амурский залив составляет 1.33×10^9 молей и 9.9×10^6 кгС, соответственно.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 16-05-00166.

Литература

1. Тищенко П.Я. Кислотно-основное равновесие в морской воде // Исследования морских экосистем и биоресурсов. М.: Наука. – 2007. – Р. 17-186.
2. Тищенко П.Я., Павлова Г.Ю., Шкирникова Е.М. Щелочность Японского моря. Новый взгляд // Океанология. – 2012. – Vol.52. – Р. 26-39.
3. Berner R.A., Rao J-L. Alkalinity buildup during silicate weathering under a snow cover // Aquatic Geochemistry. – 1997. – Vol.2. – Р. 301-312.
4. Herczeg A.L., and Hesslein R.H. Determination of hydrogen ion concentration in softwater lakes using carbon dioxide equilibria // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1984. – Vol.48. – Р. 837-845.
5. Meybeck, M. Riverine transport of atmospheric carbon: Sources, global typology and budget // Water, Air, and Soil. – 1993. – Vol.70. – Р. 443-463.
6. Pitzer, K.S. Ionic Interaction Approach: Theory and Data Correlation // Activity Coefficients in Electrolyte Solutions. (2nd ed.; Pitzer, K.S., Ed.). Boca Raton, FL: CRC Press. – 1991. – Р. 75-153.
7. Raymond P.A., and Cole J.J. Increase in the export of alkalinity from Northern America's largest river // Science. – 2003. – Vol. 301. – Р. 88-91.

ОСОБЕННОСТИ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД Г. ТОМСКА

Хвощевская А.А., Наливайко Н.Г.

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

e-mail: unpc_voda@mail.ru

Аннотация: Изучен микробиологический состав подземных вод г. Томска. Выявлено большое разнообразие и высокая численность различных групп микроорганизмов, отрицательно влияющих на качество воды. Показана опасность использования природных вод источников децентрализованного водоснабжения в питьевых целях без процедуры водоподготовки.

Ключевые слова: подземные воды, микрофлора, качество.

FEATURES OF MICROBIOLOGICAL COMPOSITION OF UNDERGROUND WATERS IN TOMSK CITY

Khvashevskaya A.A., Nalivaiko N.G.

Tomsk Polytechnical University, Tomsk, Russia

e-mail: unpc_voda@mail.ru

Abstract. The microbiological composition of the decentralized water supply sources of Tomsk city is investigated. A large diversity and significant amount of different microorganisms that adversely affect the water quality is revealed. The risk of using the decentralized water supply sources for drinking purposes without water treatment is shown.

Keywords: ground water, microflora, quality.

Введение

Томская область относится к территории с достаточно высокой обеспеченностью ресурсами пресных подземных вод. В настоящее время наблюдается их активное использование населением г. Томска в питьевых целях в частном порядке из источников децентрализованного водоснабжения: родников, колодцев, индивидуальных скважин. Качество вод этих источников оценивается населением самостоятельно без привлечения специалистов по органолептическим свойствам вод визуально и по вкусовым ощущениям. Согласно действующих в России санитарно-гигиенических требований [6] одним из основных факторов определяющих качество питьевых вод является их безопасность в эпидемиологическом отношении. Этот критерий для питьевых вод источников централизованного водоснабжения обеспечивается в процессе ее водоподготовки и сопровождается регулярным контролем микробиологических характеристик этих вод. В отношении вод родников, колодцев и индивидуальных скважин эта процедура не осуществляется.

Цель данной работы – изучение микробиологического состава природных вод источников нецентрализованного водоснабжения, используемых в питьевых целях на территории г. Томска, как критерия их качества и безопасности.

Материалы и методы

Объектом исследований являются воды родников, колодцев и неглубоких частных скважин, расположенных на территории города Томска и используемые населением для хозяйственно-питьевых целей. Источники водоснабжения располагаются в разных частях города в условиях различной техногенной нагрузки на территорию и отличаются характером каптажного устройства. Колодцы и неглубокие скважины преимущественно приурочены к селитебным районам, не имеющим централизованного водоснабжения и размещающиеся на огородных участках. Для исследования микробиологического состава вод родников выбраны наиболее посещаемые населением города источники.

Отбор проб воды производился в соответствии с требованиями МУК 4.2.1018-01 «Санитарно-микробиологический анализ питьевой воды» в стерильную стеклянную посуду. Всего отобрано и исследовано 77 проб воды. Изучение микробиологического состава вод проводилось с применением классических методов микробиологии [5]. Комплекс микробиологических показателей включал физиологические группы, индикаторные на микробное и химическое загрязнение, а также на способность воды к самоочищению. Для выявления и количественного учета микроорганизмов использовали элективные питательные среды, учитывающие физиологические потребности исследуемых групп.

Одновременно проводилось изучение химического состава этих вод как фактора среды обитания микроорганизмов. Исследования проводились в Проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии НОЦ «Вода» ИПР ТПУ с применением методов титриметрии, потенциометрии, колориметрии, кондуктометрии, инверсионной вольтамперометрии, атомно-

абсорбционной спектрометрии, ионной хроматографии и флуориметрии по аттестованным методикам, включенным федеральный информационный фонд.

Результаты и их обсуждение

По химическому составу исследуемые подземные воды преимущественно гидрокарбонатные кальциево-магниевые либо магниевые-кальциевые, нейтральные или слабо щелочные, пресные, умеренно жесткие. Среди них встречаются также воды, имеющие хлоридно-гидрокарбонатный и хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатный анионный состав. Минерализация вод источников на территории города изменяется от 0,26 г/л до 1,45 г/л. Значительный размах значений отмечается также для величин рН (от 5 до 8) и жесткости (от 3,6 до 11,5 мг-экв/л) исследуемых вод. В химическом составе изученных вод присутствуют компоненты, содержание которых нередко достигает или превышает предельно допустимые для питьевых вод нормы, к которым относятся органическое вещество, азотистые соединения и хлорид-ион. Наличие в воде подземных источников водоснабжения загрязняющих компонентов зависит от степени их изолированности от дневной поверхности и характера антропогенной нагрузки на территории их расположения [1, 3].

Микрофлора исследованных вод городской территории характеризуется большим разнообразием физиологических групп, осуществляющих в аэробных и анаэробных условиях деструкцию минеральных и органических веществ, и тем самым определяющих качество воды. Количественная характеристика выявленных групп представлена в таблице. Их биогеохимические характеристики и характер взаимодействия с компонентами окружающей среды детально представлены в предыдущих работах авторов [2,5].

Одним из главных факторов определяющих присутствие микроорганизмов в водной среде является наличие органического вещества. В этой связи преобладающее внимание в исследованиях уделено выявлению в водах психрофильных сапрофитов и олиготрофов, в связи с тем, что первая

группа является показателем наличия в водах лобильного органического вещества (водорастворенная органика), а вторая характеризует степень минерализации этого вещества. По количеству сапрофитов возможно оценить степень загрязненности природной экосистемы и микробами, и органическим веществом. Согласно [5] в чистой воде количество психрофильных сапрофитов не должно превышать 100 кл/мл, и быть меньше, чем количество в ней олиготрофов [5].

Как показали проведенные исследования, в водах всех изученных источников постоянно присутствуют как олиготрофы, так и психрофильные сапрофиты. Количество психрофильных сапрофитов колеблется от 30 до 43000 кл/мл воды и контрастно уменьшается в ряду родники, колодцы, скважины. Особенно высокий уровень содержания этой группы бактерий наблюдается в водах источников, расположенных в районах города со старой застройкой частными домами без централизованного водоснабжения и канализации. Олиготрофы практически везде преобладают численно над психрофильными сапрофитами, что указывает на способность вод всех изученных источников к самоочищению, за исключением единичных случаев.

Многочисленны во всех источниках бактерии, связанные с метаболизмом азотсодержащих органических веществ. Они представлены аммонифицирующими, нитрифицирующими, денитрифицирующими и уробактериями.

Аммонифицирующие микроорганизмы в качестве источника углерода и энергии используют широкий круг органических веществ и особенно белки. Продуктами их метаболизма является в основном аммиак [2, 4, 5]. Количество этих бактерий в незагрязненной воде, согласно составляет первые сотни кл/мл или 3 – 5 % от общего числа микробов, а в загрязненной - несколько тысяч кл/мл. В воде 70 % изученных источников содержание микробов данной группы колеблется от нескольких десятков до десятков тысяч кл/мл, что указывает на загрязненность ими воды, связанную с

присутствием в ней аллохтонного (антропогенного) органического вещества. Значительное количество этих бактерий, достигающее 26470 кл/мл, выявлено в водах колодцев и существенно снижается в водах родников (в 7 раз) и скважин (в 30 раз).

Денитрифицирующие бактерии обнаружены в 75 % изученных источников воды в количестве от 1000 до 10000 кл/мл с преобладанием численности и встречаемости в колодцах. Микроорганизмы этой группы осуществляют разложение органических веществ в анаэробных условиях, используя для этого нитраты в качестве источника кислорода, Основным конечным продуктом их разложения является аммиак [2].

Нитрифицирующие бактерии, жизнедеятельность которых связана с удалением аммиака из окружающей среды, в результате окисления его до нитритов и нитратов, были обнаружены в воде всего 20 % изученных родников, почти во всех колодцах и единично – в воде скважин. Причем, численно они существенно уступают микробам, продуцирующим аммиак. Относительно высоким содержанием этих бактерий отличаются родники в старых районах города, где имеется скученность жилых построек и наличие мощного слоя антропогенного грунта, способствующего обогащению атмосферного воздуха углекислотой и аммиаком.

Уробактерии в исследуемых водах обнаружены в 30 % родников и 46% колодцев, воды которых загрязнены канализационными стоками и отсутствуют в водах скважин. Эти бактерии осуществляют деструкцию карбамидов, мочевую кислоту и ее соли, которые служат для них источником углерода и азота. Конечным продуктом их деструкции является аммиак. Как правило, эти бактерии встречаются в местах, загрязненных канализационными и хозяйственно-бытовыми стоками.

В воде 40 % родников и 10 % колодцев и скважин выявлено присутствие активных форм нефтеокисляющих бактерий. В процессе своей жизнедеятельности при благоприятных условиях среды обитания эти бактерии могут разрушать нефть до углекислого газа и воды. Большое

количество этих бактерий обнаруживалось в тех родниках, где существовала возможность загрязнения вод нефтепродуктами как в областях питания и транзита, так и в местах их разгрузки и составляло здесь более 70 % от общего количества микробов. По имеющимся данным [5], в природных водах, не загрязненных нефтью, эти бактерии численно составляют 1 – 4 % от общего количества микробов. Это позволяет сделать предположение о существующем загрязнении вод этих родников нефтью, что подтверждается высоким содержанием в этих водах нефтепродуктов, колеблющееся от 0,68 до 1,3 мг/л (при норме ПДК для питьевых вод 0,3 мг/л).

В водах 50 % изученных родников и практически всех колодцев обнаружены сульфатовосстанавливающие бактерии, деятельность которых связана с выделением в окружающую среду сероводорода, что отрицательно сказывается на органолептических свойствах воды. При этом в водах скважин сульфатовосстанавливающие бактерии отсутствовали.

Целлюлозоразрушающие бактерии, как аэробные, так и анаэробные, обнаружены в водах родников, оборудованных деревянным каптажным сооружением и всех колодцев. В летнее время при локальном прогреве деревянных поверхностей каптажа количество данных бактерий возрастает до нескольких тысяч клеток. Присутствие этих бактерий указывает на загрязнение воды почвой, а продукты их жизнедеятельности могут провоцировать в среде обитания размножение денитрифицирующих, сульфатредуцирующих и метанобразующих микроорганизмов [5].

Мезофильные сапрофиты, являющиеся показателем наличия в водах условно патогенной микрофлоры, выявлены в водах всех источников, нередко в количествах превышающих норматив (50 кл/мл) [6] указывая на то, что воды этих источников не безопасны для питьевого использования.

Оценка безопасности источников водоснабжения по количеству психрофильных сапрофитов, в соответствии с классификацией [5] показала, что воды 46 % родников являются загрязненными, а 30 % очень грязными. Вода 50 % колодцев являются умеренно загрязненной и 30 % – загрязненной.

Воды большинства изученных неглубоких скважин по количеству психрофильных сапрофитов являются загрязненными.

Железобактерии в исследуемых водах встречаются эпизодически и приурочены к выходам с металлическим каптажем [7]

Распределение источников с загрязненной водой по территории города не связано с ее функциональным характером, т.е. отношением к промышленной, селитебной или парковой зоне. Даже те родники, разгрузка которых происходит в парковых зонах имеют микробное и химическое загрязнение воды. В целом же, наиболее подвержены загрязнению родники северной части города, как наиболее промышленно освоенной. Количество и разнообразие микроорганизмов в этой части города многократно превышает содержание этих же групп бактерий в сравнении с водоисточниками южной и особенно юго-восточной, наименее промышленно освоенной части города.

В целом, проведенные исследования показали наличие бактериального загрязнения, как по численности, так и разнообразию физиологических групп в водах всех изученных источников. По общей численности бактерий первенство занимают воды родников, затем идут колодцы, наименьшая численность микробов установлена в водах скважин. Состав бактериоценозов показывает почти повсеместное загрязнение вод изученных источников органическими веществами, соединениями серы и азота. Источником загрязняющих веществ являются продукты антропогенной деятельности, которые подвергаясь микробным превращениям, вызывают вторичное загрязнение воды как химического, так и микробиологического характера, что отражается на органолептических свойствах воды.

Выводы

Проведенные исследования показали, что подземные воды всех изученных источников г. Томска характеризуются наличием в их составе разнообразных групп микроорганизмов, содержащихся в значительных количествах. Численность бактерий зависит от характера источника, а также вида и интенсивности техногенной нагрузки на территорию. Выявленная

особенность микробиологического состава вод свидетельствует о высокой степени их бактериального загрязнения, что указывает на опасность их использования в питьевых целях без процедуры водоподготовки.

Таблица – Количество микроорганизмов в водах подземных водах источников нецентрализованного водоснабжения г. Томска

Физиологические группы бактерий	Количество микроорганизмов (в кл/мл*)		
	Родники	Колодцы	Скважины
Мезофильные сапрофиты	30-690	30-240	20-280
Психрофильные сапрофиты	30-43000	60-6300	30-1470
Олиготрофы	30-74100	390-48050	3200-920000
Нефтеокисляющие	30-57200	30-1620	20-4200
Денитрифицирующие	10-10000	10-10000	10-10000
Аммонифицирующие	10-3200	1020-26470	10-350
Нитрифицирующие	10-1000	10-1000	10-100
Уробактерии	30-5800	30-2340	0
Сульфатредуцирующие	10-10000	30-1000	0
Целлюлозоразрушающие аэробные	0-100	10-1000	0
Целлюлозоразрушающие анаэробные	0-100	10-1000	0
Железобактерии	0-2000	0	0-5000

Примечание: значения в таблице приведены в виде минимум-максимум;

*-кл/мл (клеток на 1 мл воды).

Литература

1. Дутова Е.М., Наливайко Н.Г. Особенности химического и микробиологического состава подземных вод территории города Томска // Известия вузов. Геология и разведка. – 2011. – №. 5. – С. 56-61.
2. Lipponen M T T, Suutari M H and Martikainen P J 2002 Occurrence of nitrifying bacteria and nitrification in Finnish drinking water distribution systems // J. Water Research. – V. 36 – P. 4319-4329.
3. Наливайко Н.Г., Кузеванов К.И., Копылова Ю.Г. Атлас бактериальных пейзажей родников г. Томска. – Томск: SST, 2002. – 52 с.
4. Нетрусов А.И., Егорова М.А., Захарчук Л.М. и др. Практикум по микробиологии. – М.: АСАДЕМА, 2005.
5. Романенко В.И. Микробиологические показатели качества воды. //Водные ресурсы. – 1979. – №6. – С. 138-153.
6. СанПиН 2.1.4.1074-01 Вода питьевая. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.
7. Хвощевская А.А., Наливайко Н.Г. Железобактерии питьевых вод города Томска.- Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии [Текст]: Труды Всероссийской научной конференции с международным участием: в 2 т. – Барнаул, 2014. – Т II. – С. 192-199.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕЧНЫХ ВОД ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РФ

Шулькин В.М.¹, Михайлик Т.А.², Тищенко П.Я.²

¹ Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Владивосток, Россия

² Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, г. Владивосток, Россия

e-mail: shulkin@tig.dvo.ru, tpavel@poi.dvo.ru

Аннотация. Охарактеризованы региональные особенности сезонных изменений химического состава рек Дальнего Востока, связанные с мусонностью климата и достаточно длительным периодом ледостава. В ледостав наблюдается увеличение минерализации, концентрации биогенных элементов, прежде всего восстановленных форм азота, а также растворенных форм Mn за счет внутриводоемных процессов. Доминирующей тенденцией сезонной изменчивости минерализации и растворенных макрокомпонентов, в теплый период, как и для других регионов, является уменьшение содержания в результате разбавления атмосферными водами при повышении расхода реки. В противоположность этому, концентрация растворенного Сорг и микроэлементов, связанных с коллоидами, возрастает с увеличением расхода воды за счет интенсификации плоскостного смыва. Обнаружена значительная межгодовая изменчивость летних максимумов концентрации коллоидных форм микроэлементов в реках региона, обусловленная, вероятно вариациями водности.

Ключевые слова: Речные воды, химический состав, сезонная изменчивость, Дальний Восток РФ

REGIONAL FEATURES OF THE SEASONAL VARIABILITY OF RIVER WATER CHEMICAL COMPOSITION FOR RUSSIAN FAR EAST

Shulkin V.M.¹, Mikhailik T.A.², Tishchenko P.Ya.²

¹ Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia

² Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia

e-mail: shulkin@tig.dvo.ru, tpavel@poi.dvo.ru

Abstract. Seasonality of the river chemical composition within south of Russian Far East was studied. Monsoons and quite a long freezing period are main regional features. An increase of TDS, ammonium concentrations, and dissolved forms of Mn due to inner water reservoir processes are the main peculiarities in winter. A decrease of TDS and macroions because of dilution by atmospheric waters takes place at the river discharge growth in summer. In contrast, the concentration of DOC and trace elements associated with colloids, increases with river discharge growth at the summer floods due to intensification of planar flush. Significant interannual variability of summer concentration maximums of colloidal forms of metals was observed in the rivers of the region, probably due to variations of water discharge.

Key words: River water, chemical composition, seasonal changes, Russian Far East

Сезонность химического состава – характерная черта речных вод, обусловленная рядом факторов. Прежде всего это изменение в течение года соотношения атмосферных осадков и подземных вод в балансе питания рек. Кроме того, трансформация атмосферных осадков в процессе формирования речного стока, а также биогеохимические процессы на водосборе и в речных водах также зависят от сезона. Антропогенная нагрузка тоже часто имеет сезонный характер. Информация о сезонной изменчивости химического состава речных вод необходима как для оценки качества вод, так и для характеристики возможного влияния речного стока на биогеохимические процессы в эстуариях и в прилегающих морских водах. Очевидно, что

сезонная изменчивость имеет региональную специфику, обусловленную природно-климатической зональностью. Последние годы большое внимание уделялось изучению речного стока в моря Арктики в том числе в сезонном аспекте [4]. Достаточно полно охарактеризована сезонная изменчивость некоторых рек Европы [6], США [2] и Китая [5]. Бореальная зона ДВ РФ с этой точки зрения изучена недостаточно, хотя выраженная муссонность климата, сопровождаемая с одной стороны, паводками летом, а с другой – достаточно продолжительным ледоставом зимой, может вести к значительным сезонным вариациям химического состава речного стока.

Целью данной статьи является характеристика региональных особенностей сезонной изменчивости минерализации, концентрации биогенных элементов (С, N, P, Si), растворенных, коллоидных (<0.45 мкм) и взвешенных форм следовых металлов (Fe, Mn, Zn, Cu, Cd и др.) в средних по размеру реках Дальнего Востока РФ с площадью водосбора 17000-30000 км² и различным уровнем антропогенной нагрузки.

Материалы и методы

Юг Дальнего Востока РФ включает в себя Приморский и юг Хабаровского краев, с низкой в среднем, но неравномерно распределенной плотностью населения. Большинство крупных рек региона имеют трансграничный характер, с расположением части водосборов на активно освоенной территории Китая. В результате неизбежен трансграничный перенос веществ, в том числе загрязняющих, речным стоком, что обуславливает необходимость соответствующей оценки возможного влияния на химический состав речных вод.

Климат региона умеренный муссонный с выпадением 90% осадков с апреля по октябрь, что ведет к резко неравномерному сезонному распределению речного стока с формированием дождевых паводков во второй половине лета (рис. 1В), хотя возможно формирование и дополнительного паводка в мае-июне, особенно для рек северной части региона. Наиболее детальные работы по изучению сезонной изменчивости

химического состава речного стока были проведены на р.Раздольная (средний годовой сток 2,27 км³), впадающей в Японское море вблизи г.Владивостока. На постоянной станции в низовьях р.Раздольная пробы воды отбирали 2 раза в месяц в период с марта 2013 по апрель 2014, и с мая 2015 по ноябрь 2016. Кроме того, использованы данные по отборам в различные сезоны в нижнем течении р. Туманная (сток 6,78 км³/год), впадающей в Японское море на границе РФ и КНДР, и рек Уссури (сток 7,47 км³/год), Большая Уссурка (сток 11,07 км³/год) и Бикин (сток 7,51 км³/год), дренирующих западный макросклон хр.Сихотэ-Алинь, и сливающихся в р. Уссури, которая впадает в р.Амур у г.Хабаровска (рис. 1А).

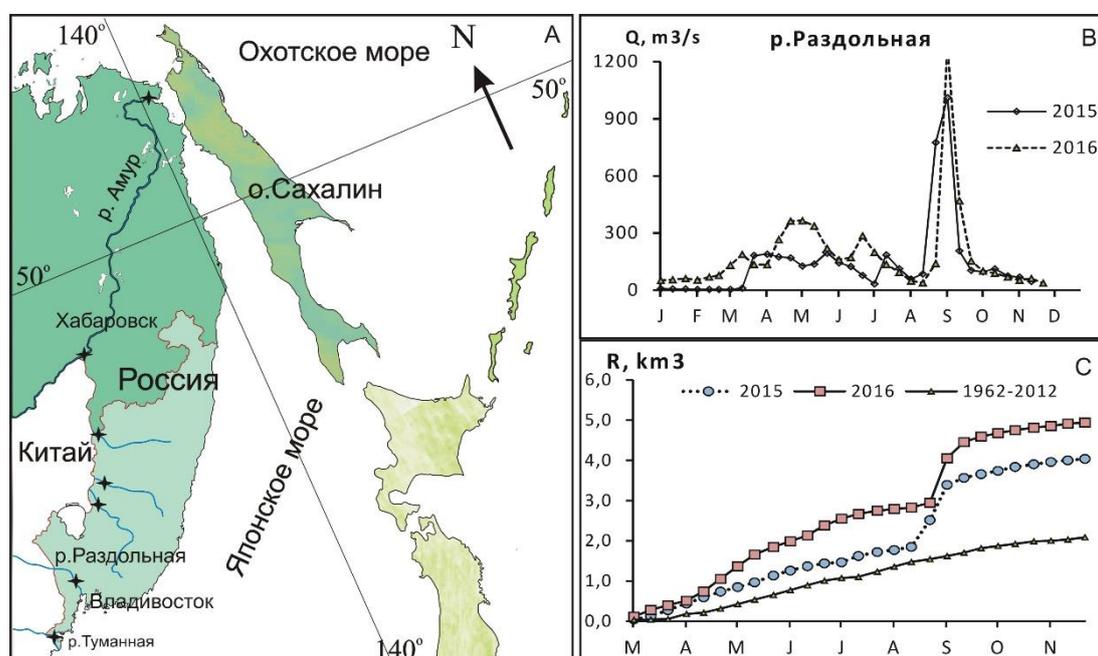


Рис. 1 – Схема района работ (А), гидрограф р.Раздольная (В), и накопленный сток р. Раздольная в 2015, 2016 и в среднем за период 1962-2012 (С)

В отличие от рек Раздольная и Туманная, дренирующих территории активного хозяйственного освоения, опробованные реки бассейна Уссури расположены на территории с низким уровнем антропогенной нагрузки с преобладанием на водосборах таежных ландшафтов.

В пробах воды определяли электропроводность с учетом температуры *in situ*, содержание взвеси, концентрацию макроионов, растворенных форм биогенных элементов (N, P, Si, C) стандартными гидрохимическими методами [3]. Кроме того, определяли концентрацию растворенных, коллоидных и взвешенных форм ряда следовых элементов (Fe, Mn, Zn, Cu,

Cd, Ni) методом атомной абсорбции после фильтрации через капсульные и мембранные фильтры с размером пор 0.45 мкм, и концентрирования растворенных и кислотного разложения взвешенных форм. Концентрацию коллоидных форм оценивали по разнице количества «растворенных» форм, выделяемых при фильтрации через капсульные фильтры Pall GWV и мембранные Millipore Durapore. Правильность и точность анализа контролировали анализом стандартных образцов, а также параллельным анализом части проб методом ИСП-МС.

Результаты и обсуждение

Наиболее маловодным периодом для рек региона является ледостав, когда расход рек уменьшается до 5-10% от среднемноголетних значений. Это сопровождается увеличением роли более минерализованных грунтовых и подземных вод в балансе питания по сравнению с теплым сезоном, когда в питании доминируют ультрапресные атмосферные осадки. Уменьшение минерализации с ростом расхода воды происходит по степенному закону и в период высокой воды и паводков меняется незначительно (рис. 2а). Параметры зависимости различаются в соответствии с ландшафтной структурой водосбора: масштаб сезонной изменчивости минерализации рек бассейна Уссури, дренирующих относительно малоосвоенные таежные водосборы, значительно меньше, чем р.Раздольная и Туманная.

Поскольку концентрация макроионов демонстрирует линейную зависимость от проводимости (рис. 2в), очевидно, что их сезонная изменчивость аналогична общей минерализации. При этом характер зависимости концентрации макроионов от проводимости для нижнего течения изученных рек одинаков (рис. 2в) независимо от уровня антропогенной нагрузки и различия ландшафтов водосбора. Таким образом, сезонные изменения минерализации и концентрации макроионов в реках ДВ РФ, как и в других регионах умеренной зоны, контролируются вариациями водности с максимумами в ледостав и снижением в паводки.

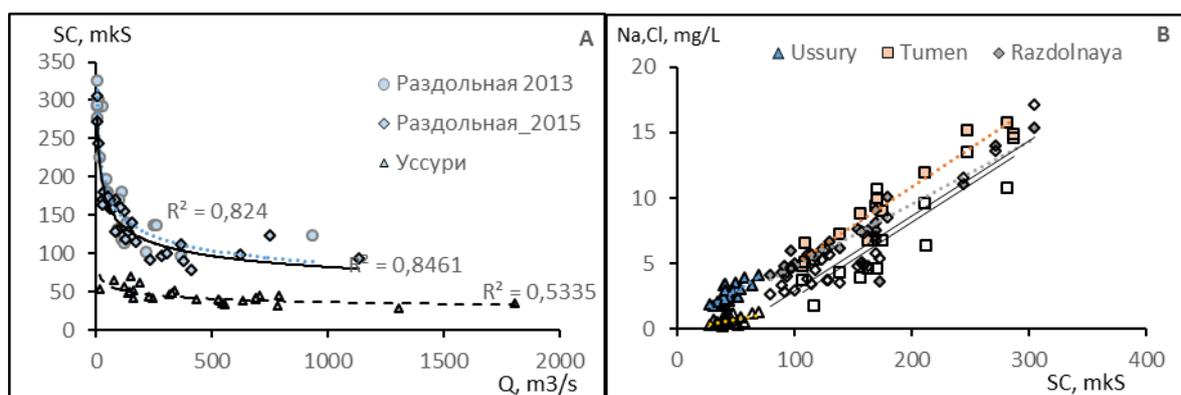


Рис. 2 – Зависимость проводимости (SC) от расхода воды р.Раздольная и рек бассейна Уссури (А), концентрации макроионов (на примере Na^+ и Cl^-) от проводимости в реках Туманная, Раздольная и Уссури (В)

Главной особенностью сезонного изменения концентрации нитратов в р.Раздольная является повышенный уровень во время ледостава. В этот же период повышается и концентрация восстановленных аммонийных форм азота, тогда как в теплое время резко доминируют нитраты (рис. 3А). Сезонная изменчивость концентрации нитратов в реках Раздольная и Туманная, подверженных существенной антропогенной нагрузке, положительно коррелирует с минерализацией вод (рис. 3В), т.е. контролируется прежде всего разбавлением поступления из точечных источников при возрастании расхода. В реках бассейна р.Уссури с низким уровнем антропогенной нагрузки концентрации нитратов на порядок меньше, и имеет отрицательную корреляцию с минерализацией (рис. 3В), т.е. возрастает с увеличением расхода, отражая интенсификацию смыва с водосбора при паводках. Для сезонной изменчивости концентрации фосфатов в р.Раздольная характерен повышенный уровень летом, очевидно за счет большего количества фосфора доступного к мобилизации на водосборе в виде растительной биомассы. Зимой в ледостав возможны как минимумы, так и максимумы фосфатов в зависимости от хода внутриводоемных процессов (рис. 3С). Поэтому однозначной зависимости между концентрацией фосфатов и расходом воды или минерализации не наблюдается ни в одной из изученных нами рек. То же самое относится и к сезонной изменчивости растворенного кремния (DSi). Единственное

исключение – период ледостава, когда концентрация DSi демонстрирует прямую связь с минерализацией, отражая увеличение вклада подземных вод.

Отличительной чертой сезонной изменчивости концентрации растворенного органического углерода ($C_{орг}$) в реках является положительная корреляция с расходом воды, и, соответственно, отрицательная корреляция с минерализацией (рис. 3D). Это свидетельствует о распределенном характере источников $C_{орг}$ на водосборах изученных рек ДВ РФ и интенсификации вымывании органических веществ летними дождевыми паводками, как главным контролирующим факторе, что типично и для рек других регионов умеренной зоны, а также рек арктического бассейна.

Таким образом, сезонная изменчивость биогенных веществ в реках региона имеет сложный характер за счет сезонных вариаций биопродукционных процессов на водосборе и в водотоках, а также антропогенной нагрузки. Для нитратов в антропогенно нагруженных реках наблюдается снижение концентрации в паводки за счет доминирующего влияния разбавления, тогда как в фоновых реках преобладает положительная связь с расходом воды в результате вымывания дождевыми паводками. Положительная связь с расходом воды $C_{орг}$ характерна для всех изученных рек региона (рис. 3D). Ледостав сопровождается повышением концентрации растворенных форм азота, особенно восстановленных аммонийных форм, кремния, и в определенных условиях, фосфора.

По характеру сезонной изменчивости концентрации растворенных и коллоидных форм, проходящих через фильтр 0,45 мкм, металлы различаются (рис. 4). Для растворенного Mn наиболее яркая черта – значительное увеличение концентрации при пониженном расходе воды в ледостав. При этом в низовьях р. Раздольная концентрация растворенного Mn достигает 10000 нМ по сравнению с 70-300 нМ в летний период (рис. 4а). Поскольку в подземных водах региона содержание растворенного Mn не превышает 200 нМ [1], очевидно, что причиной зимнего максимума Mn в речных водах являются внутриводоемные процессы, прежде всего деструкция ОВ в воде и донных отложениях, сопровождаемая возникновением восстановительных условий среды и мобилизацией Mn в раствор.

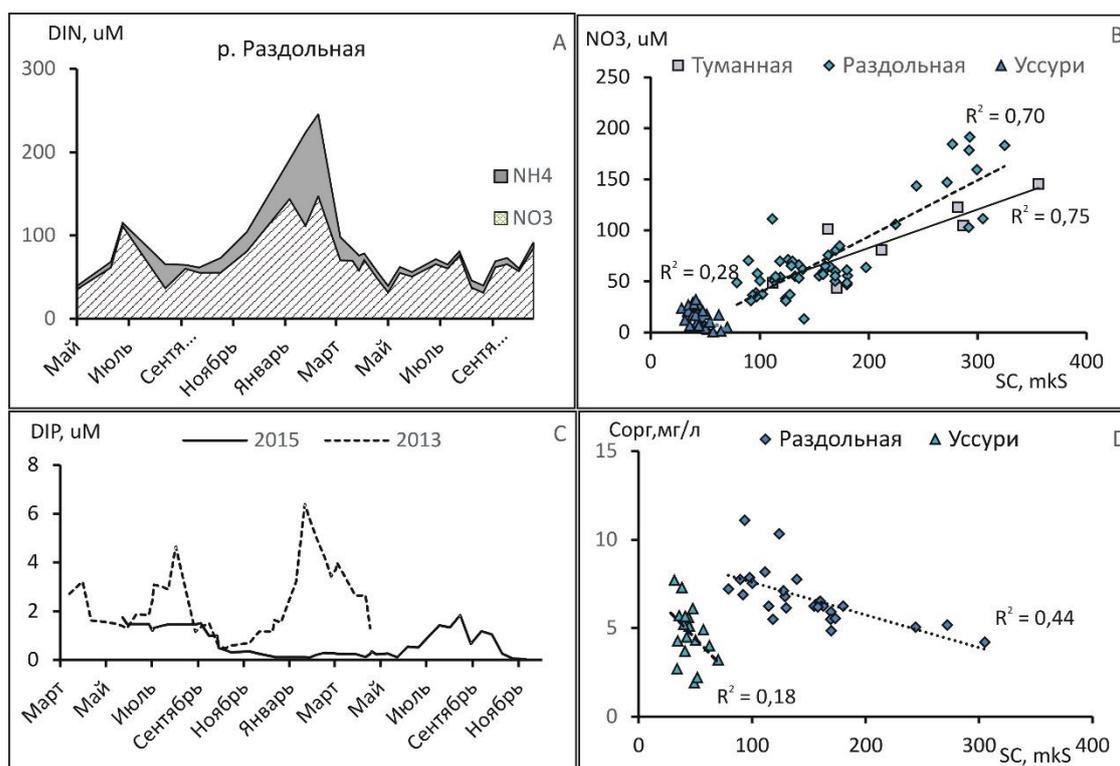


Рис. 3 – Сезонная изменчивость концентрации нитратов и аммонийного азота (А) и фосфатов (С) в низовья р.Раздольная, а также зависимость концентрации нитратов (В) и $S_{орг}$ (D) от проводимости в реках Туманная, Раздольная и Уссури

Сезонная изменчивость растворенных форм всех других изученных металлов характеризуются максимумами в теплое время года, приуроченными к периодам повышения расхода воды и/или содержания взвеси. Контрастность летних максимумов уменьшается в ряду $Fe > Zn > Ni \sim Cu \sim Cd$ (рис. 4а, б), т.е. наибольшее увеличение (до 30 раз) наблюдается для Fe – металла для миграции которого коллоидные формы наиболее важны [7]. Сезонное возрастание концентрации растворенных и коллоидных форм Zn и Ni, Cu, Cd достигает 20 и 4-5 раз, соответственно. Для рек бассейна Уссури, подверженных меньшей антропогенной нагрузке по сравнению с р.Раздольная, также наблюдается тенденция увеличения концентрации растворенных форм Zn и Cu и уменьшения Mn с ростом расхода воды.

Доказательством связи летних максимумов «растворенного» Fe в водах р. Раздольная с повышенным содержанием коллоидных форм, является значительно меньшая концентрация растворенных форм Fe обнаруживаемых после фильтрации через мембранные фильтры по сравнению с капсульными (рис. 5а).

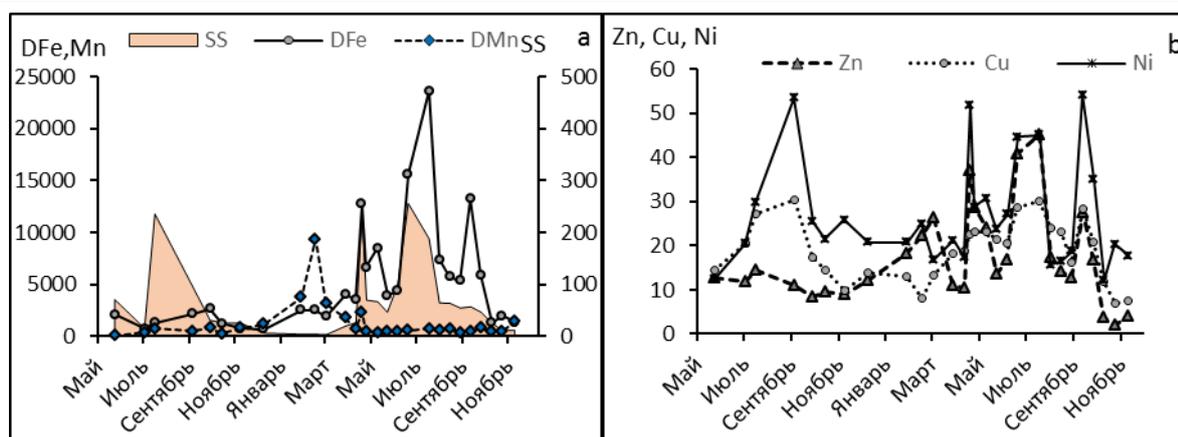


Рис. 4 – Сезонное изменение концентрации (nM) растворенных и коллоидных форм (<0.45 мкм) металлов Fe, Mn, Zn, Cu, Ni и содержания взвеси (SS, мг/л) в нижнем течении р. Раздольная

Последние имеют на порядок большую фильтрующую способность, а мембранные фильтры с размером пор 0,45 мкм при содержании взвеси более 20 мг/л быстро коагулируют, и, эффективно задерживают коллоидные частицы, играющие ведущую роль в транспорте Fe в паводки. Судя по тому, что для других металлов разница в концентрации при фильтрации через капсульные и мембранные фильтры значительно меньше (Zn) или практически отсутствует (Cu, Mn) (Рис. 5b, c, d), роль коллоидов в миграции Cu, Cd, Mn значительно меньше, чем для Fe, что совпадает с данными специализированных исследований коллоидных форм химических элементов в речных водах субарктики [7]. Необходимо отметить, что для макро-ионов, и нитратов, а также для растворенного $C_{орг}$ значимой разницы между фильтратами, полученными при помощи капсульных и мембранных фильтров не обнаружено. Это позволяет предположить миграцию Fe и отчасти других металлов (Zn и Ni) в р.Раздольная в виде достаточно крупных неорганических коллоидов, тогда как транспорт растворенного $C_{орг}$ и таких металлов как Cu и Mn осуществляется в составе более мелких коллоидов и в растворенной форме. Аналогичная тенденция доминирования низкомолекулярных соединений $C_{орг}$ и Cu наблюдалась в Северной Двине [7].

Необходимо отметить, что величина летних паводковых максимумов Fe и других металлов, связанных с коллоидами, варьирует год от года (рис. 5a,b), тогда как для компонентов, мигрирующих в виде низкомолекулярных

соединений ($C_{орг}$, C_u) межгодовая изменчивость невелика (рис. 5c,d). Причины межгодовых вариаций содержания коллоидов в летний период до конца не понятны. Можно предположить, что аномально высокая водность летом 2016 (рис. 1c) являлась одной из главных причин интенсификации выноса коллоидных частиц в реку, хотя нелинейность процесса очевидна.

Повышенная концентрация растворенных/коллоидных форм металлов и органического вещества в период паводков в сочетании с высоким расходом воды ведет к крайне неравномерному распределению их речного стока в море. При этом, в отличие рек арктического бассейна, где повышенный сток растворенных и коллоидных форм Fe, Al и других малорастворимых металлов характерен для периода весеннего половодья [4, 7], максимум стока в реках юга Дальнего Востока наблюдается во второй половине лета и в начале осени. Максимумы концентрации аммонийного азота и растворенного Mn, наблюдаемые в ледостав, оказывают значительное, но локальное влияние на водные экосистемы нижнего течения рек и эстуарии вследствие минимального расхода воды в зимний период.

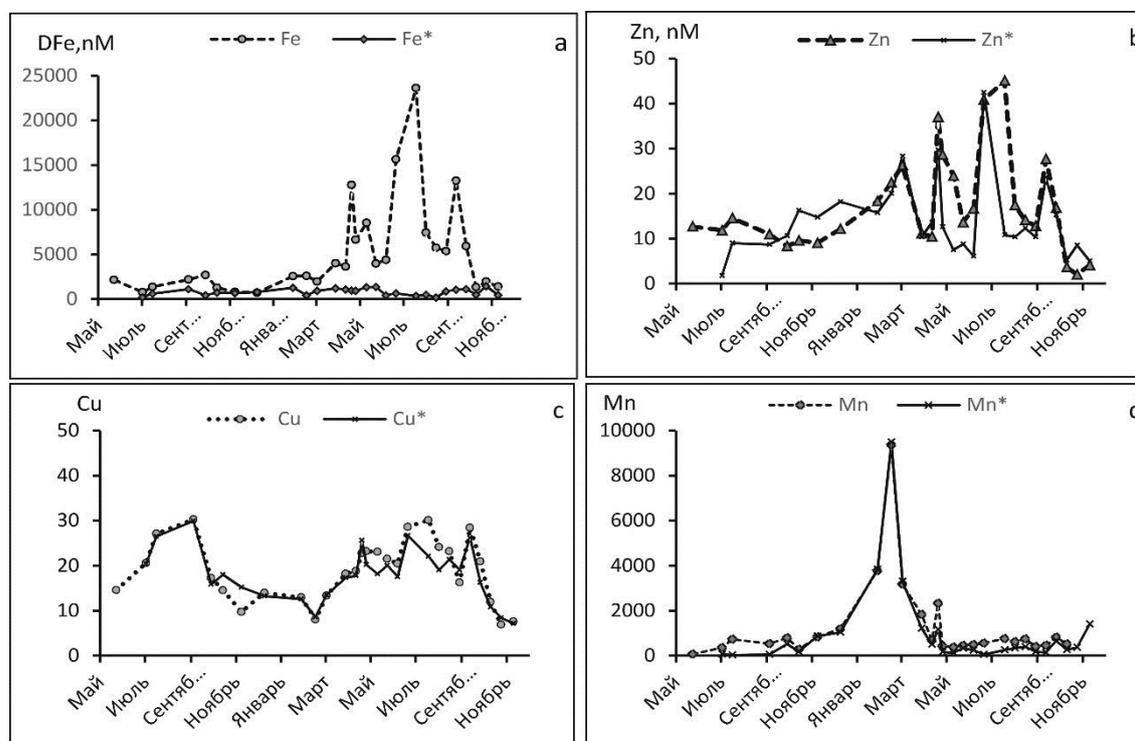


Рис. 5 – Сезонное изменение концентрации (nM) форм металлов в низовьях р.Раздольная отфильтрованных при помощи капсульных (GWV 0.45 μm - пунктир) и мембранных фильтров (Millipore 0.45 μm – сплошная)

Содержание взвешенных форм металлов в речных водах контролируется прежде всего, количеством взвеси, которое максимально в паводки. Поэтому учет взвешенных форм в потоках металлов, выносимых речным стоком, только усиливает роль летних паводков в выносе металлов в эстуарии и в прибрежную зону морей юга Дальнего Востока РФ.

Выводы

Сочетание периода ледостава с минимальной водностью, и летних муссонных дождевых паводков является наиболее важной особенностью водного режима рек Дальнего Востока РФ.

Ледостав сопровождается значительным увеличением концентрации аммонийных форм азота и растворенных форм Mn до уровня превышающего ПДК для рыбохозяйственных водоемов. Однако в связи с минимальным расходом реки, объем вод с таким аномальным составом не превышает 1% от годового объема речного стока, а негативное влияние на водную экосистему ограничено по времени.

В паводки наблюдается снижение минерализации и увеличение концентрации РОВ и растворенных/коллоидных форм Fe, Zn, Ni, Cu. При этом величина паводковых максимумов малорастворимых металлов (Fe) меняется год от года. Зависимость сезонной изменчивости биогенных веществ от расхода воды в реках региона контролируется сезонными вариациями биопродукционных процессов на водосборе и в водотоках, а также уровнем и характером антропогенной нагрузки.

Сочетание экстремально высокого расхода воды и повышенной концентрации обеспечивает резкое доминирование паводковых режимов в поставке не только взвешенных, но и растворенных/коллоидных форм широкого круга микроэлементов РОВ в эстуарии и в прибрежно-морские акватории региона.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 16-05-00166.

Литература

1. Chelnokov G., Kharitonova N., Bragin I., Chudaev O. Geochemistry of mineral water and gases of the Razdolnoe Spa // *Applied Geochemistry*. – 2015. – Vol.59. – P. 147-154.
2. Duan S., Powell R.T., Bianchi T.S. High frequency measurement of nitrate concentration in the Lower Mississippi River, USA // *Journal of Hydrology*. – 2014. – Vol. 519. – P. 376-386.
3. Grasshoff K., Ehrhard M., Kremling K. *Methods of Seawater Analysis*. – Weinheim, Germany, Verlag Chemie, 1983. – 419 p.
4. Holmes R.M., James W. McClelland J.W., B. J. Peterson et al. Seasonal and annual fluxes of nutrients and organic matter from large rivers to the Arctic Ocean and surrounding seas // *Estuaries and Coasts*. – 2012. – Vol. 35. – P. 369-382.
5. Liu S.M., Qi X.H., Li X. et al., 2016. Nutrient dynamics from the Changjiang (Yangtze River) estuary to the East China Sea // *Journal of Marine Systems*. – 2016. – Vol. 154. – P. 15-27.
6. Ollivier P., Radakovitch O., Hamelin B. Major and trace element partition and fluxes in the Rhône River // *Chemical Geology*. – 2011. – Vol. 285. – P. 15-31.
7. Pokrovsky O.S., Viers J., Shirokova L.S., Shevchenko V.P., Filipov A.S., Dupre B. 2010. Dissolved, suspended and colloidal fluxes of organic, major and trace elements in the Severnaya Dvina River and its tributary // *Chemical Geology*. – 2010. – Vol. 273. – P. 136-149.

ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИБАЙКАЛЬЯ

Янчук М.С.

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск, Россия

e-mail: m_s_yanchuk@mail.ru

Аннотация. На основе гидрохимического анализа определен современный ионный состав поверхностных и подземных вод природно-антропогенных комплексов Прибайкалья. Выявлено, что антропогенный фактор наравне с природными факторами, играет важную роль в формировании компонентного состава вод.

Ключевые слова: Прибайкалье, гидрохимический анализ, поверхностные воды, подземные воды, ионный состав

HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF SURFACE AND UNDERGROUND WATER OF NATURAL-ANTHROPOGENIC COMPLEXES OF THE BAIKAL REGION

Yanchuk M. S.

Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russia

e-mail: m_s_yanchuk@mail.ru

Abstract. Based on hydrochemical analysis, the current ionic composition of surface and underground water of natural-anthropogenic complexes of the Baikal region is defined. It is found that the anthropogenic factor along with natural factors play an important role in the formation of the component composition of water.

Keywords: Baikal region, hydrochemical analysis, surface water, underground water, ionic composition

Введение

Химический состав поверхностных и подземных вод формируется при совокупности физических, химических и биологических процессов, происходящих на территории водосбора и в самом водоеме. Природный раствор вод предопределяется вещественным составом пород и руд, преобладающих в дренируемых водами толщах земной коры. Также большое влияние на химизм воды оказывает антропогенная деятельность.

В Байкал впадает более 500 рек и речек (рис. 1). Они составляют 82,4 % всего притока, надземная составляющая, по данным А.Н. Афанасьева не превышает 4,4 % [2]. Реки Прибайкалья в течение зимнего периода скованны льдом и в большинстве своём промерзают до дна. В летние месяцы, во время сильных дождей и интенсивного таяния снега в горах, реки выходят из берегов. Поверхностные воды, питающие Байкал, по химическому составу близки водам озера. В верховьях речная вода имеет низкую минерализацию (до 10-20 мг/дм³), в приустьевой части она достигает максимальной

величины [4]. По степени минерализации [2] все притоки Байкала разделены на пять групп: с минерализацией меньше 50 мг/дм³ (небольшие горные речки, формирующие свои воды на обращенных к озеру склонах горных хребтов), от 50 до 100 мг/дм³ (большинство рек в окружающих Байкал хребтах); от 100 до 200 мг/дм³ (Селенга, Баргузин и более мелкие реки, в бассейнах которых развиты карбонатные породы); от 200 до 300 мг/дм³ (реки, протекающие среди карбонатных пород); более 300 мг/л (реки, протекающие в карбонатных породах и питающихся, вероятно, за счет минерализованных вод). Особенностью химического состава поверхностных вод Прибайкалья является, в некоторых случаях, повышенное содержание в них кремния. Вода Прибрежной части Байкала является ультрапресной, с минерализацией не превышающей 100 мг/дм³. При этом 60 % приходится на гидрокарбонат-ион, около 20-25 % - на ионы кальция, на остальные элементы, включая сульфаты, хлор, магний, кремний и др., остается всего 15 % [4]. По характеру русловых процессов водотоки относятся к типу рек с ограниченным меандрированием.

Источниками загрязнения водоемов, вследствие которого происходит изменение их химического состава, являются сточные воды с сельскохозяйственных территорий. Сток данного типа вод может быть как поверхностным, так и подземным. В связи с широким использованием удобрений значительная доля из общего состава минеральных компонентов, выносимых сельскохозяйственными стоками, приходится на азот и фосфор [6]. Также загрязняющие вещества попадают в воду вместе с атмосферными выбросами от местных котельных и с территории близлежащих промышленных узлов и выхлопами автотранспорта.

Цель работы: дать оценку современного химического состава поверхностных и подземных вод природно-антропогенных комплексов Прибайкалья.

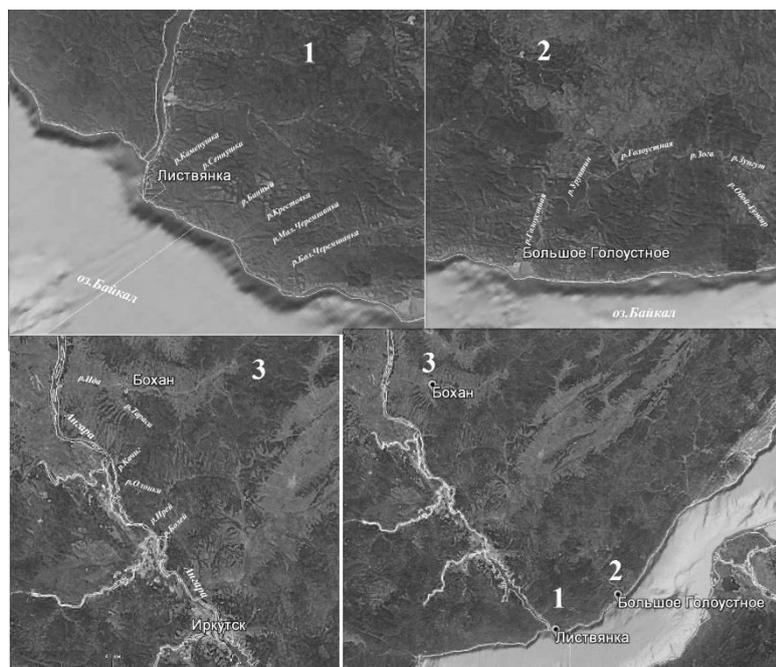


Рис.1–Карта-схема района исследования

Материалы и методы

Для гидрохимического анализа в 2013-2014 году были отобраны пробы воды рек Крестовка и Большая Черемшанка и ручьёв: Каменушка, Сеннушка, Банный и Малая Черемшанка, протекающих по территории поселка Листвянка. В поселке Большое Голоустное были изучены образцы поверхностных вод из русла Голоустной и впадающих в нее рек и ручьев, а также подземная (колодезная) вода. По Александровскому тракту от города Иркутска до поселка Бохан были взяты образцы из рек Болей, Ирей, Олонка, Качиг, Тараса. Пробы воды отбирались выше населенных пунктов.

Отбор проб и гидрохимические исследования проводились по стандартизованным и общепринятым методикам.

Полученные результаты

Ручьи Каменушка, Сеннушка и Банный являются горными, их протяженность составляет не более 5-6 км. Гидрохимический анализ ручьев Каменушка и Сеннушка, проведенных в 2013–2015 гг. свидетельствует о том, что их общая минерализация выше минерализации байкальской воды (рис 2.). Воды ручьев относятся к гидрокарбонатно кальциевому типу. Минерализация ручья Банного изменяется в пределах 64,34–81,16 мг/дм³.

Ручей Банный по классификации Алёкина А.О. относится к третьему типу [1]. Показатель рН ручьев варьируется от 6,9 до 8.

Вода реки Крестовки имеет слабозеленоватый оттенок. Было установлено, что её воды имеют меньшую минерализацию, чем воды Байкала. Воды ручьев Малая Черемшанка и Большая Черемшанка относятся к гидрокарбонатно кальциевым. Оба ручья текут по местами заболоченным распадкам, покрытыми лесным массивом. Минерализация воды ручья Большая Черемшанка выше минерализации Байкальской воды. Минерализация ручья Малая Черемшанка составляет 38,98–89,44 мг/дм³.

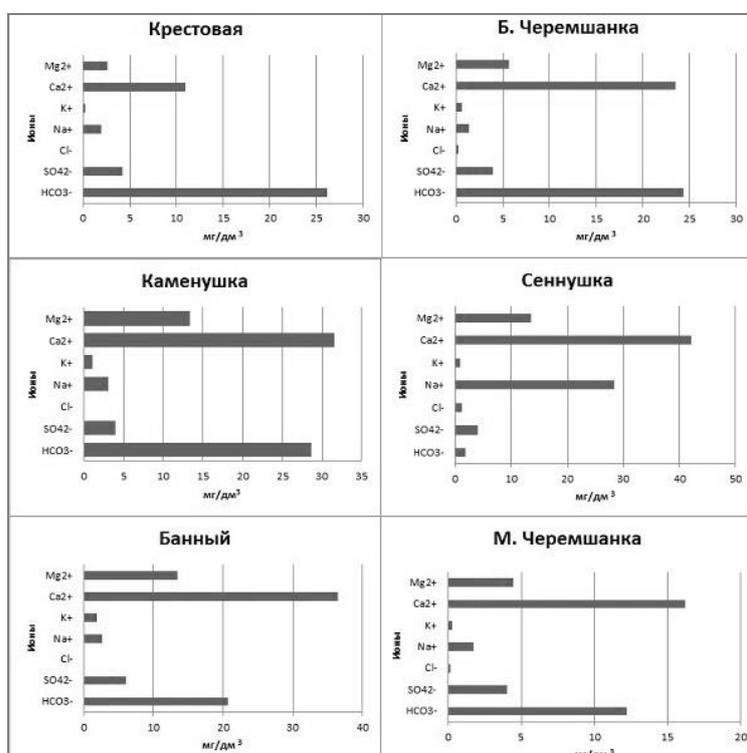


Рис. 2 – Ионный состав поверхностных вод, п. Листвянка

В поселке Большое Голоустное для анализа были отобраны пробы воды озера Байкал, подземных вод (колодезной воды) в Большом и Малом Голоустном, а также из русла реки Голоустной и впадающих в нее речек и ручьев. Река Голоустная является значительным притоком Байкала. Свое начало река берет на северных склонах Приморского хребта и протекает, по долине между Олотским и Приморскими хребтами параллельно берегу Байкала, затем поворачивая на юго-восток, река прорезает Приморский хребет и выходит к западному побережью озера.

Общая минерализация реки (211 мг/дм³) выше минерализации байкальской воды. Воды Голоустной относятся к гидрокарбонатно-кальциевым, с малым содержанием сульфатов, хлора и калия (рис. 3). В образцах, отобранных на территории населенного пункта отмечено увеличение содержания сульфатов, хлоридов и натрия. В пробах взятых выше населенных пунктов, содержание данных ионов значительно ниже. Воды реки имеют слабощелочную реакцию (7,59-7,99).

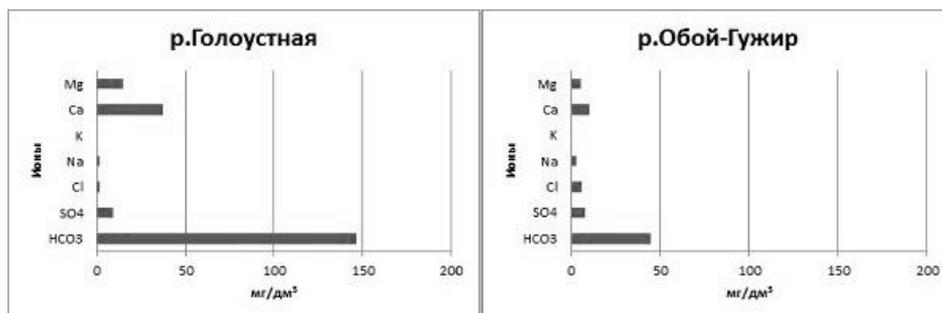


Рис. 3 – Ионный состав поверхностных вод, п. Большое Голоустное

Реки, впадающие в Голоустную относятся к гидрокарбонатно-кальциевым. Минерализация рек Обой-Гужир (78,12 мг/дм³) и Зога (82,91 мг/дм³) ниже, чем у Голоустной. Высокой минерализацией, выше чем в Голоустной, обладают река Зунгут (230,4 мг/дм³) и ручей Урунтин (252 мг/дм³). В пробах воды Зунгут и Урунтин содержание кальция, хлора и магния выше, чем в р. Голоустной. Содержание сульфатов в реке Голоустной выше, чем в реках впадающих в неё. Показатель рН вод впадающих в Голоустную варьируется в пределах 7,6-8.

В образцах отобранных в озере Байкал, с прибрежной зоны поселков Листвянка и Большое Голоустное, минерализация воды варьируется от 102,7 мг/дм³ до 142,29 мг/дм³. Байкальская вода относится к типу гидрокарбонатно-кальциевых вод, с преобладанием ионов гидрокарбонатов и кальция, с малой долей хлоридов и сульфатов.

На территории поселка Листвянка образцы колодезной воды отбирались в падах Сеннушка, Банная, Малая и Большая Черемшанка (табл.1). Колодезную воду население использует для питья. Минерализация подземных вод варьируется от 85,9 мг/дм³ до 166,4 мг/дм³. Воды относятся к

гидрокарбонатно кальциевым. Для питьевой и хозяйственно-бытовой воды оптимальным считается уровень рН в диапазоне от 6 до 9. Зарегистрированные показатели рН водной среды варьируют от 6,9 до 7 единиц.

Таблица 1– Ионный состав колодезной воды п. Листвянка и Большое Голоустное

Образец	рН	НСО ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Сl ⁻	Na ⁺	К ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Минерализация
п.Листвянка									
57к	6,97	81,74	4,00	36,21	1,82	0,83	21,90	8,84	155,34
100к	7,41	3,05	40,00	63,90	15,32	2,03	55,68	26,96	206,94
9к	7,70	11,59	12,00	46,51	9,98	0,81	64,47	21,02	166,38
50к	7,63	1,22	8,00	64,61	8,89	3,17	62,57	26,16	174,62
Банная к.	6,99	38,43	4,00	2,45	2,84	2,22	27,32	8,65	85,91
п.Большое Голоустное									
Гк1	7,60	150,06	9,50	8,40	4,63	0,69	33,40	18,34	225,02
Гк2	7,80	297,68	31,50	36,70	11,35	1,23	79,82	45,28	503,56
Г12к	7,60	48,80	9,50	4,90	3,15	0,57	15,45	6,57	88,93
Г11к	7,50	32,94	8,00	17,60	5,25	0,45	12,69	6,78	83,69

Гидрохимический анализ колодезной воды поселка Большое Голоустное показал, что данная вода имеет повышенную минерализацию (в сравнении с байкальской водой) (табл.1). В образцах воды обнаружено высокое содержание хлоридов, сульфатов, кальция, магния, натрия. Возможно, это связано с тем, что население использует для обеззараживания питьевой воды химические реагенты, которые и показали такие значения. В поселке Малое Голоустное колодезная вода обладают минерализацией изменяющейся в пределах от 83,69 мг/дм³ до 88,93 мг/дм³ – гидрокарбонатно-кальциевая.

По Александровскому тракту от города Иркутска до поселка Бохан были отобраны пробы поверхностной воды из рек Болей, Ирей, Олонка, Качиг, Тараса, а также из Щучьего озера и «источника» (рис.4). Реки относятся к Сибирской платформе, течение рек слабое, поймы заболочены, закустарены с редкой березой [5]. По сумме ионов исследованные воды относятся к группе с малой минерализацией (до 200 мг/дм³) [1]. Воды реки Тарасы и Щучьего озера относятся к гидрокарбонатно-кальциевым. Реакция среды в р. Тарасе и оз. Щучьем слабощелочная 7,5–7,7 единиц рН. Воды «Источника», рек Болей, Олонка относятся к хлоридному классу, с

преобладающим катионом кальция. По водородному показателю воды имеют слабощелочную среду, значения варьируются от 7,3 до 8,24 единиц pH. Воды р. Ирей относятся к сульфатному классу важнейшим катионом кальция.

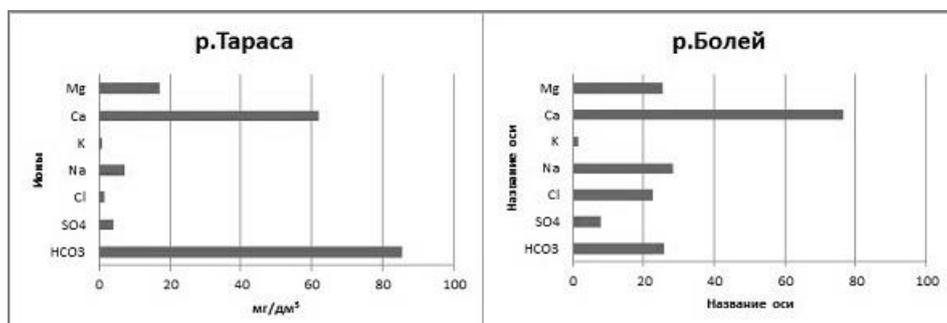


Рис. 4 – Ионный состав поверхностных вод, от г. Иркутска до п. Бохан

Выводы

Анализ проб поверхностной и подземной воды природно-антропогенных комплексов Прибайкалья показал, что минерализация ручьев и рек протекающих по территории поселка Листвянка выше минерализации Байкальской воды, за исключением ручья Большая Черемшанка. Поверхностные воды относятся к классу гидрокарбонатно-кальциевых. Воды проток реки Голоустной содержат больше калия и магния, чем основная река. Но в целом минерализация рек ниже. Гидрохимические исследования водотоков южной части Сибирской платформы (рек Болей, Ирей, Олонки, Качиг, Тарасы) показали минерализацию 100 – 200 мг/дм³, слабощелочные значения pH. Повышенную минерализацию, в сравнении с байкальской водой имеют образцы колодезной воды, отобранной с юго-западного побережья озера Байкал. Рост концентрации сульфат-иона, обусловлен проникновением воздушных масс северо-западного переноса по долине Ангары. Увеличение концентрации диоксида серы в атмосфере вследствие загрязнения ее промышленными выбросами приводит к росту содержания сульфатов в атмосферных осадках, что влечет за собой изменения в соотношении главных ионов – уменьшение гидрокарбонат-иона, кальция и повышение сульфат- и хлорид-ионов.

Литература

1. Алекин О.А. К вопросу о химической классификации природных вод // Вопросы гидрохимии. Тр. НИУ ГУГМС, 1948. – Сер. 4. – Вып. 32. – С. 25-39.

2. Афанасьев А.Н. Колебания гидрометеорологического режима на территории СССР (в особенности в бассейне Байкала). – М.:Наука, 1967. – 231 с.
3. Вотинцев К.К., Глазунов И.В., Толмачева А.П. Гидрохимия рек бассейна озера Байкал. – М.: Наука, 1965. – 494 с.
4. Ломоносов И.С., Покатилов Ю.Г. Биогеохимическая оценка природных вод Прибайкалья (юг Красноярского края) / Геохимия техногенеза. – Новосибирск: Изд-во Наука сиб. от-ние, 1986. – С. 70-117.
5. Нечаева Е.Г., Снытко В.А., Напрасникова Е.В., Коновалова Т.И., Власова Н.В. Индикационная роль долинных геосистем в ландшафтно-геохимической оценке Верхнего Приангарья // Известия РАН. Серия географическая. – 2010. – N 2. – С. 90-99.
6. Никаноров А.М. Гидрохимия / А.М. Никаноров. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1989. – 352с.

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ МАКРОЗООБЕНТОСА МАЛЫХ ГОРНЫХ ВОДОТОКОВ АЛТАЯ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Яныгина Л.В.^{1,2}, Евсеева А.А.³

¹ *Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия*

² *Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Россия*

³ *Алтайский филиал ТОО «Казахский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства», г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан*

e-mail: zoo@iwep.ru

Аннотация. Для оценки особенностей трансформации макрозообентоса малых горных водотоков Алтая в зоне влияния предприятий горнодобывающего комплекса были исследованы структурные характеристики донных сообществ р. Брекса (Восточно-Казахстанская область Республики Казахстан). На участке р. Брекса, расположенном ниже зоны поступления дренажных вод «Казцинк», общее видовое богатство зообентоса снизилось в 2 раза по сравнению с фоновым створом, количество видов высокочувствительных к загрязнению групп макробеспозвоночных (веснянок, поденок и ручейников) в каждой пробе уменьшилось в 3 раза. В результате корреляционного анализа выявлены отрицательные связи средней силы между содержанием тяжелых металлов (Zn и Cu) в воде и значениями большинства рассчитанных биологических показателей (числом видов, численностью, биомассой, индексами ТБИ, ЕРТ, ВМWP). Даны рекомендации по использованию этих показателей при оценке экологического состояния малых горных водотоков, загрязненных тяжелыми металлами.

Ключевые слова: макробеспозвоночные, тяжелые металлы, горнодобывающая деятельность, водотоки Алтая

FEATURES OF MACROZOOBENTHOS STRUCTURE IN SMALL ALTAI MOUNTAIN STREAMS IN THE ZONE OF MINING ENTERPRISES INFLUENCE

Yanygina L.V.^{1,2}, Evseeva A.A.³

¹ *Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia*

² *Altai State University, Barnaul, Russia*

³ *Altai branch of LLP "Kazakh Scientific-Research Institute of Fisheries", Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan*

e-mail: zoo@iwep.ru

Abstract. Structural characteristics of benthic communities of the river Breaksa (East Kazakhstan oblast of the Republic of Kazakhstan) were studied to assess the macrozoobenthos transformation of small Altai mountain streams in the zone of mining influence. The total species richness of zoobenthos in the impact zone of river Breksa decreased by one half as compared to that at the background site; in each sample the number of highly sensitive species from macroinvertebrate groups (i.e. stoneflies, mayflies and caddisflies) showed a 3-fold reduction. The results of the correlation analysis revealed a negative moderate relationship between the content of heavy metals (Zn and Cu) and the majority of the calculated biological parameters (number of species, abundance, biomass, indices of TBI, EPT, BMWP). Recommendations on these indicators use for assessing the ecological state of small mountain streams contaminated by heavy metals are given.

Keywords: macroinvertebrate, heavy metals, mining activities, the Altai streams

Деятельность горнодобывающих предприятий является одним из наиболее значимых факторов трансформации как наземных, так и водных экосистем горных территорий. В результате их работы могут происходить изменения природной среды как на локальном, так и на региональном уровне. Многолетнее функционирование горнодобывающих и горноперерабатывающих предприятий приводит к трансформации почвенно-

растительного покрова, возникновению техногенных форм рельефа, ухудшению качества поверхностных вод. При этом особо опасным последствием деятельности горнодобывающих предприятий является поступление в различные компоненты окружающей среды, в том числе в поверхностные воды, тяжелых металлов. Тяжелые металлы не разрушаются в окружающей среде, характеризуются высокой токсичностью для живых организмов, а также способностью к биоаккумуляции, что позволяет отнести их к группе наиболее опасных для водных экосистем видам токсического воздействия [1].

Макрозообентос – один из наиболее долгоживущих компонентов экосистемы, что дает возможность оценивать с его помощью длительное хроническое загрязнение природной среды. В состав зообентоса входят высокочувствительные к тяжелым металлам виды гидробионтов, что позволяет диагностировать ухудшение состояния среды даже при небольшом уровне воздействия.

Целью данной работы было изучение особенностей состава и структуры макрозообентоса малых горных водотоков Алтая, водосборные бассейны которых расположены в зоне деятельности горнодобывающих предприятий.

Материал и методы исследования. Исследования проводили на р. Брекса (Восточно-Казахстанская область). Река Брекса, малая река Юго-Западного Алтая, относится к бассейну р. Ульба – крупного правобережного притока р. Иртыш. Длина р. Брекса 22,8 км, площадь водосбора 150 км². Вода реки гидрокарбонатного типа, слабощелочная (рН 8,1), малой минерализации (42–168 мг/л). По гидрохимическим показателям в 2006–2008 гг. на фоновом створе выше г. Риддера качество поверхностных вод соответствовало II классу – воды чистые. В нижнем течении река принимает дренажные воды «Казцинка», расположенного в промышленной зоне г. Риддер. Ниже зоны поступления дренажных вод качество воды ухудшается до VII класса (чрезвычайно грязные). В 2006 г. среднегодовые концентрации

загрязняющих веществ составляли: меди 17,6 ПДК, цинка 16,5 ПДК, нефтепродуктов 1,3 ПДК [2].

Пробы зообентоса р. Брекса отбирали на двух станциях: 6,8 км выше г. Риддера (фоновый участок) и в черте г. Риддера ниже сброса дренажных вод свинцового завода АО «Казцинк» (импактная зона) ежемесячно с апреля по октябрь 2006–2008 гг.

Донные отложения р. Брекса представлены преимущественно каменисто-галечниковыми субстратами. Пробы зообентоса отбирали гидробиологическим скребком с режущей кромкой шириной 18 см. На каждом участке грунт собирали с поверхности длиной в 1 м в пяти повторностях, которые затем объединяли в одну пробу. При этом площадь облова составляла 0,9 м². Животных выбирали в чашке Петри под биноклем и помещали в пенициллиновые флаконы с 4%-ным раствором формалина. В лаборатории беспозвоночных определяли до вида (кроме хирономид, идентифицированных до семейства, и водных клещей, идентифицированных до надсемейства) и взвешивали на аналитических электронных весах ALJ 220-4 фирмы Kern с дискретностью отсчета 0,1 мг. Всего было отобрано и проанализировано 42 количественные пробы зообентоса.

Для оценки экологического состояния водотоков были рассчитаны биотические индексы (метрики), наиболее распространенные в системах экологического мониторинга рек разных стран: биотический индекс р. Трент (индекс Вудивисса TBI), Biological Monitoring Working Party Index (BMWP); Average Score Per Taxon Index (ASPT); Family Biotic Index (FBI); суммарное количество видов веснянок, поденок и ручейников (EPT). Кроме того, сравнение фоновых и импактных створов проводили по численности (N , тыс. экз./м²), биомассе (B , г/м²), индексу видового разнообразия Шеннона (H , бит/экз.) и среднему числу видов в пробе (S) [3]. Для определения классов качества рассчитывали отношение значений биологических показателей на фоновых створах к значениям этих показателей в импактной зоне

(коэффициент EQI). При этом значения, отклоняющиеся от фоновых не более чем на 20%, относили к «высокому» качеству («очень чистые»). Показатели, составляющие 60–80 % от фоновых – к «хорошему» («чистые»); 40–60 % – к «посредственному» («умеренно загрязненные»); 20–40% – к «низкому» («загрязненные»); менее 20 % – к «плохому» качеству («грязные»).

Статистический анализ данных проводился с использованием программы Statistica 6.0. Для анализа взаимосвязи количественных признаков рассчитаны ранговые корреляции Спирмена. В таблицах жирным шрифтом выделены статистически значимые коэффициенты корреляции ($p < 0,05$). При сравнении нескольких выборок нулевую гипотезу об отсутствии различий между выборками проверяли с использованием непараметрического метода Мана-Уитни (U).

Результаты исследования. На фоновом участке р. Брекса в составе зообентоса было отмечено 95 видов зообентоса. Основу донных сообществ беспозвоночных составляли личинки амфибиотических насекомых: ручейников, веснянок, поденок, причем доля оксиреофильных видов в пробах достигала 90 %. По частоте встречаемости на створе доминировали веснянки *Skwala pusilla* (52% проб), *Amphinemura borealis* (48% проб), поденки *Epeorus pellucidus* (81% проб), *Neoleptophlebia chocolata* (52% проб), ручейники *Ceratopsyche newae* (62% проб), *Brachycentrus americanus* (67% проб), *Dicosmoecus palatus* (57% проб), а также ракообразные *Gammarus korbuensis* (90% проб), и личинки хирономид (76% проб).

Биомасса зообентоса фонового створа р. Брекса соответствовала умеренному классу продуктивности по «шкале трофности» [4]. Донные сообщества характеризовались высоким таксономическим богатством (до 29 видов в пробе) и разнообразием (индекс видового разнообразия Шеннона $2,9 \pm 0,1$ бит/экз.) (табл. 1). Высокое видовое богатство зообентоса фонового участка достигалось преимущественно за счет высокочувствительных к загрязнению групп макробеспозвоночных: число видов веснянок, поденок и ручейников (ЕРТ-комплекса) в среднем составляло более половины общего

видового списка. Значения всех биоиндикационных индексов характеризуют воду фонового участка р. Брекса как «очень чистую».

Таблица 1 – Значения некоторых биологических показателей на фоновом участке и в импактной зоне р. Брекса

Показатель	Р. Брекса (фон)	Р. Брекса (ниже завода)	U	Z	p-уровень
S	17,5±1,3	5,9±0,9	15,5	4,4	<0,0001
EPT	11,5±0,9	3,5±0,5	27,0	4,8	<0,0001
TBI	9,4±0,2	6,3±0,4	22,0	4,9	<0,0001
BMWP	123,7±9,3	39,6±5,0	24,5	5,0	<0,0001
ASPT	7,1±0,1	6,3±0,3	166,5	1,3	0,17
H	2,9±0,1	1,8±0,1	68,5	3,8	<0,0001
N	383,8±159,5	41,5±9,3	52,0	4,2	<0,0001
B	3,9±0,9	0,6±0,2	43,5	4,4	<0,0001

Примечание: условные обозначения в разделе «Объекты исследования и методы»

На створе р. Брекса, расположенном ниже сбросов «Казцинка», видовое богатство зообентоса снизилось в два раза; в составе зообентоса было отмечено только 47 видов. При этом снижение видового богатства произошло преимущественно за счет высокочувствительных к загрязнению групп макробеспозвоночных: число видов веснянок, поденок и ручейников (EPT-комплекса) в среднем снизилось в 3 раза (табл. 1). По частоте встречаемости на створе доминировали личинки двукрылых сем. *Chironomidae* (81% проб) и *Tipula* sp. (48% проб). Значения биомассы донных беспозвоночных соответствовали очень низкому классу продуктивности [4].

В импактной зоне в каждой пробе отмечали от 3 до 12 видов зообентоса. Значения всех рассчитанных биологических показателей (кроме индекса ASPT) статистически значимо снизились по сравнению с фоновым участком (табл. 1). Средние значения биотического индекса Вудивисса и индекса BMWP свидетельствовали о невысоком качестве воды. Значения индекса ASPT так же, как и на фоновом створе, соответствовали «прекрасному» качеству воды, что говорит о низкой чувствительности индекса к данному виду воздействия.

Для оценки возможности использования в системе экологического мониторинга р. Брекса биотических индексов, разработанных для других регионов мира, были рассчитаны значения коэффициентов корреляции этих

индексов с содержанием приоритетных загрязняющих веществ (медь, цинк) и некоторыми другими показателями. Значения биотических индексов тесно коррелировали ($R=0,7-0,9$) друг с другом (табл. 2). Значения всех выбранных биологических индексов статистически значимо снижались с увеличением содержания приоритетных загрязняющих веществ (цинка и меди). Наименьшие значения коэффициентов корреляции отмечены для индекса ASPT ($R=-0,19 - -0,32$) и индекса видового разнообразия Шеннона ($R=-0,50 - -0,52$). Для остальных биотических индексов отмечены отрицательные связи средней силы ($R=-0,6 - -0,7$) с этими тяжелыми металлами. Изменения содержания в воде различных участков р. Брекса нефтепродуктов и железа не оказывало значимого воздействия на донные сообщества. Среди других факторов среды отмечены слабые отрицательные связи ($R = -0,3 - -0,4$) биологических показателей с содержанием взвешенных веществ в воде. Значимое снижение биологических показателей при увеличении содержания взвешенных веществ может быть связано как с негативным влиянием взвешенных частиц на гидробионтов (особенно фильтрационного типа питания), так и с переносом на взвешенных частицах тяжелых металлов. Ранее было показано, что для Zn, Cu и ряда других металлов взвешенная и нелабильная формы являются преобладающими при миграции от площадок горно-технических работ [5].

Заключение. Дренажные воды АО «Казцинк» существенно модифицируют донные сообщества р. Брекса: на участке р. Брекса, расположенном в импактной зоне, общее видовое богатство зообентоса снизилось в 2 раза по сравнению с фоновым створом, количество видов высокочувствительных к загрязнению групп макробеспозвоночных (веснянок, поденок и ручейников) уменьшилось в 3 раза. Значения всех рассчитанных биологических показателей, кроме индекса ASPT, статистически значимо различались на участках выше и ниже зоны воздействия.

Таблица 2 – Значения коэффициентов корреляции Спирмена между биотическими индексами и некоторыми гидрохимическими показателями

	S	EPT	TBI	BMWP	ASPT	H	N	B
Прозрачность	0,38	0,35	0,39	0,31	-0,01	0,14	0,44	0,36
Температура	0,22	0,16	0,26	0,16	-0,01	0,08	0,27	0,05
Взвешенные вещества	-0,40	-0,34	-0,38	-0,33	-0,11	-0,26	-0,44	-0,43
БПК ₅	-0,38	-0,24	-0,24	-0,29	-0,13	-0,16	-0,21	-0,19
Fe	-0,17	-0,08	-0,13	-0,05	0,21	0,02	-0,31	-0,28
Cu	-0,64	-0,58	-0,64	-0,62	-0,19	-0,50	-0,70	-0,68
Zn	-0,73	-0,66	-0,69	-0,68	-0,32	-0,52	-0,60	-0,66
нефтепродукты	-0,08	-0,03	-0,06	-0,05	-0,05	-0,14	-0,14	-0,11
S	1,00	0,94	0,96	0,97	0,37	0,71	0,89	0,80
EPT	0,94	1,00	0,95	0,98	0,59	0,78	0,84	0,72
TBI	0,96	0,95	1,00	0,96	0,51	0,74	0,90	0,79
BMWP	0,97	0,98	0,96	1,00	0,51	0,76	0,85	0,74
ASPT	0,37	0,59	0,51	0,51	1,00	0,22	0,10	0,14
H	0,71	0,78	0,74	0,76	0,22	1,00	0,57	0,51
N	0,89	0,84	0,90	0,85	0,10	0,57	1,00	0,81
B	0,80	0,72	0,79	0,74	0,14	0,51	0,81	1,00

Для включения в программу экологического мониторинга р. Брекса могут быть рекомендованы следующие показатели: общее количество видов, индексы TBI, BMWP и EPT изменения которых наиболее значимо по сравнению с другими биологическими показателями отражают изменения концентрации основных загрязняющих веществ в реке.

Литература

1. Брень Н.В. Использование беспозвоночных для мониторинга загрязнения водных экосистем тяжелыми металлами (обзор) // Гидробиологический журнал. – 1999. – Т. 35. – № 4. – С. 75-88.
2. Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды РК за 2006 год. Министерство охраны окружающей среды РК. РГП «Казгидромет». Департамент экологического мониторинга. – Астана, 2006. – 292 с.
3. Семенченко В.П., Разлуцкий В.И. Экологическое качество поверхностных вод. – Минск: Беларус. навука, 2010. – 329 с.
4. Китаев С.П. О соотношении некоторых трофических уровней и «шкалах трофности» озер разных природных зон // Тез. докл. V съезда ВГБО, ч. II. – Куйбышев, 1986. – С. 254–
5. Малиновский Д.Н. миграции загрязняющих веществ в районах разработки Хибинских апатито-нефелиновых месторождений // Природопользование в Евро-Арктическом регионе: опыт XX века и перспективы. – Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2004. – С. 25-32.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Адилъбаев Ж.А.....	142	Михайлов В.Н.....	121
Амирбекова Ф.Т.....	142	Наливайко Н.Г.....	223
Баженова О.П.....	150	Овдина Е.А.....	203
Безматерных Д.М.....	3	Павлов И.А.....	165
Беккожаева Д.К.....	142	Павлова Г.Ю.....	213
Белолопецкий П.В.....	171	Пахомова О.М.....	121
Веснина Л.В.....	34	Повалишникова Е.С.....	121
Визер А.М.....	40	Пономарева Ю.А.....	171
Визер Л.С.....	48	Попов П. А.....	180
Винокуров Ю.И.....	3	Порохина Е.В.....	113
Винокурова Г.В.....	55	Прокопкин И.Г.....	171
Власов С.О.....	64	Пузанов А.В.....	3, 27
Гайденок Н.Д.....	75	Раднаева Л.Д.....	165
Дьяченко А.В.....	3	Рощина Е.В.....	190
Евсеева А.А.....	250	Рыбкина И.Д.....	3
Евстигнеев В.М.....	121	Седых В.А.....	190, 196
Ермолаева Н.И.....	91, 203	Сидорова М.Ю.....	27
Зарубина Е.Ю.....	203	Спиренкова О.В.....	196
Зиновьев А.Т.....	3	Страховенко В.Д.....	132, 203
Измайлова А.В.....	100	Субетто Д.А.....	17
Инишева Л.И.....	113	Сурков Д.А.....	34
Катохин А.В.....	64	Суторихин И.А.....	55
Киреева М.Б.....	121	Сысо А.И.....	27
Кириллов В.В.....	3	Танасиенко А.А.....	27
Коломейцев А.А.....	55	Тищенко П.П.....	213
Котовщиков А.В.....	3, 150	Тищенко П.Я.....	213, 231
Красноярова Б.А.....	3	Тушина А.С.....	196
Крылова Е.Н.....	64	Фроленков И.М.....	55
Кухаренко Г.В.....	34	Фроленков О.М.....	55
Ларина Г.В.....	113	Фролова Н.Л.....	121
Магрицкий Д.В.,.....	121	Хабибуллин Ф.Х.....	142
Маликова И.Н.....	132	Хвощевская А.А.....	223
Мамилов А.Ш.....	142	Ширеторова В.Г.....	165
Мамилов Н.Ш.....	142	Шулькин В.М.....	231
Митрофанова Е.Ю.....	155	Янчук М.С.....	242
Михайлик Т.А.....	213, 231	Яныгина Л.В.....	250
Михайлов В.В.....	150		

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ.....	3
Пузанов А.В., Безматерных Д.М., Винокуров Ю.И., Зиновьев А.Т., Кириллов В.В., Котовщиков А.В., Красноярова Б.А., Рыбкина И.Д., Дьяченко А.В. Современное состояние водных ресурсов и водохозяйственного комплекса Обь-Иртышского бассейна	3
<i>Субетто Д.А.</i> Палеолимнологические и палеоэкологические исследования в Северной Евразии	17
<i>Сысо А.И., Танасиенко А.А., Сидорова М.Ю., Пузанов А.В.</i> Природные и антропогенные источники поступления органического вещества и химических элементов в реку Обь с территории Новосибирской агломерации	27
СЕКЦИЯ 1. ФОРМИРОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ СУШИ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПРОЦЕССОВ	34
<i>Веснина Л.В., Кухаренко Г.В., Сурков Д.А.</i> Воздействие антропогенных факторов на водосборную площадь водотоков Западной Сибири	34
<i>Визер А.М.</i> влияние уровня режима на сообщества зообентоса в литорали новосибирского водохранилища.....	40
<i>Визер Л.С.</i> зоопланктон озер карасукско-бурлинской системы в условиях антропогенного воздействия	48
<i>Винокурова Г.В., Коломейцев А.А., Суторихин И.А., Фроленков И.М., Фроленков О.М.</i> Состав, структура фитопланктона, концентрация хлорофилла и гидрофизические параметры воды оз. Красиловское в начале весны при условии ледостава.....	55
<i>Власов С.О., Катохин А.В., Крылова Е.Н.</i> Экология уклейки <i>alburnus alburnus</i> реки Ини.....	64
<i>Гайденок Н.Д.</i> О полибиоме Енисея.....	75
<i>Ермолаева Н.И.</i> Видовой состав и пространственное распределение зоопланктона Обской Губы и Гыданской Губы.....	91
<i>Измайлова А.В.</i> Современное состояние озерного фонда Азиатской части России.....	100
<i>Инишева Л.И., Ларина Г.В., Порохина Е.В.</i> Биохимические процессы на заболоченных территориях сибери и гидрохимический состав болотных вод	113
<i>Магрицкий Д.В., Фролова Н.Л., Евстигнеев В.М., Михайлов В.Н., Киреева М.Б., Пахомова О.М., Повалишников Е.С.</i> Водные ресурсы и режим рек арктической зоны Сибири: современное состояние, прогнозируемое изменение, масштабы и структура хозяйственного использования	121

<i>Маликова И.Н., Страховенко В.Д.</i> Микроэлементы в донных отложениях озер ландшафтных зон Сибири	132
<i>Мамилев Н.Ш., Мамилев А.Ш., Хабибуллин Ф.Х., Беккожаева Д.К., Амирбекова Ф.Т., Адильбаев Ж.А.</i> Разнообразие ихтиофауны второстепенных притоков реки сырдарьи в связи с абиотическими показателями среды обитания	142
<i>Михайлов В.В., Котовицкий А.В., Баженова О.П.</i> Летний фитопланктон Новосибирского водохранилища в 2016 году	150
<i>Митрофанова Е.Ю.</i> Электронно-микроскопические исследования диатомовых водорослей Телецкого озера (Алтай, Россия)	155
<i>Павлов И.А., Ширеторова В.Г., Раднаева Л.Д.</i> Сравнительный анализ микроэлементного состава проток дельты реки Селенги	165
<i>Пономарева Ю.А., Прокопкин И.Г., Белолипецкий П.В.</i> Влияние скорости сброса воды через плотину ГЭС на динамику фитопланктона в нижнем бьефе Красноярского гидроузла.....	171
<i>Попов П.А.</i> Анализ влияния антропогенного фактора на рыб верхней Оби	180
<i>Седых В.А., Рощина Е.В.</i> Оценка уровня загрязнения малых рек в черте города Новосибирска нефтепродуктами.....	190
<i>Седых В.А., Тушина А.С., Спиренкова О.В.</i> Исследование снежного покрова с водосборных площадей ряда малых водоемов г. Новосибирска..	196
<i>Страховенко В.Д., Овдина Е.А., Ермолаева Н.И., Зарубина Е.Ю.</i> Формирование сапропелей малых озер юга Западной Сибири в условиях антропогенных воздействий	203
<i>Тищенко П.Я., Михайлик Т.А., Павлова Г.Ю., Тищенко П.П.</i> Сезонная изменчивость карбонатной системы р. Раздольной (Приморский край).....	213
<i>Хвацевская А.А., Наливайко Н.Г.</i> Особенности микробиологического состава подземных вод г. Томска	223
<i>Шулькин В.М., Михайлик Т.А., Тищенко П.Я.</i> Региональные особенности сезонной изменчивости химического состава речных вод Дальнего Востока РФ.....	231
<i>Янчук М.С.</i> Гидрохимическая характеристика поверхностных и подземных вод природно-антропогенных комплексов Прибайкалья	242
<i>Яныгина Л.В., Евсеева А.А.</i> Особенности структуры макрозообентоса малых горных водотоков Алтая в зоне влияния горнодобывающих предприятий.....	250
АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ	257

Научное издание

**ВОДНЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ
СИБИРИ И ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ**
(в четырех томах)
Т. I

Труды Всероссийской научной конференции с международным участием,
(28 августа – 1 сентября 2017 г., Барнаул)

Подготовка оригинал-макета – Л.В. Ловцкая, Д.Н. Трошкин

Подписано в печать 01.08.2017. Формат 60x84/16.
Бумага офсетная. Усл.п.л. 15,11
Тираж 400 экз. Заказ __.

Институт водных и экологических проблем СО РАН
656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1

Отпечатано в типографии ООО «Пять плюс»
656049, г. Барнаул, пр. Красноармейский, 73
тел. (385-2) 62-85-57, e-mail: fiveplus07@mail.ru
www.five-plus.ru

ISBN 978-5-9909722-1-6



9 785990 972216