

УДК 556.55

ЗОНАЛЬНЫЕ ЧЕРТЫ АКВАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ РАВНИННЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ

О.А. Тихомиров

Тверской государственной университет, Тверь

Рассмотрены дискуссионные вопросы географической зональности аквальных комплексов равнинных водохранилищ. Приведены примеры географической зональности водной растительности, донных отложений и водных масс аквальных комплексов водохранилищ.

Ключевые слова: географическая зональность, аквальные комплексы, водохранилище.

Географическая зональность и внутриландшафтные различия определяют особенности развития водных геосистем. Закон зональности проявляется в зональности компонентов водоемов и основных природных процессов [5,6 и др.]. Этому закону подчиняются поверхностные воды, илы, водная растительность, животные, что отражается в морфологическом строении и распределении аквальных комплексов (АК). В аридных геосистемах водоемов вода и грунт, в том числе и речные, сильноминерализированы. В гумидных условиях эти природные компоненты обогащены органическим веществом и слабоминерализованы. Зональность процессов, протекающих в геосистемах, в значительной мере определяется зональностью биологического круговорота и водной миграции [9]. Продукционные процессы в водоеме, изъятие химических элементов из грунта, разложение фитомассы, минерализация, количество зольных элементов и азота, выпадающих из круговорота и аккумулирующихся в АК, носят отпечаток зональности. Как следствие – различная роль гидробиоценозов в формировании водных геосистем разных географических зон.

Аквальные комплексы существенно отличаются величиной отношения первичной продуктивности к запасам фитомассы (около 2 : 1) по сравнению с наземными ландшафтами (луга – 1,4 : 1; леса – 0,03 : 1). В целом показатели биогенного круговорота водных экосистем (фитомасса, величина годовой продукции, количество мертвого органического вещества) увеличиваются с севера на юг от тундровой до экваториальной зоны в однотипных биологических группировках. Скорость разложения органического вещества растет к югу с увеличением количества поступающего в геосистему водоема тепла. В тундровых аквальных геосистемах накопление мертвого опада идет быстро, в пустынных во-

доемах деструкция превышает продуцирование биомассы, а накопление мертвого органического вещества очень слабое или отсутствует.

Биогенные вещества в грунте и биомассе служат резервом питательных веществ и обеспечивают устойчивость биоты к изменениям внешней среды. При активном вымывании элементов питания эти вещества позволяют поддерживать биологический круговорот. В результате устойчивость биогенных аквакомплексов возрастает в условиях гумидных природных зон (лесной и тундровой). В водоемах степей и пустынь резерв питания ограничен, невелика аккумуляция органического вещества и ослаблен приток питательных элементов с водосбора [8].

Внутрирегиональная контрастность акваквальных геосистем в значительной мере связана с водным режимом водоема (режимом уровня и гидродинамической активности). Водный режим определяет степень открытости или замкнутости биологического круговорота и его роль в функционировании ландшафта (накоплении объема биологической продукции и интенсивности потоков биогенных элементов). В однотипных климатических условиях величина биомассы связана с колебаниями уровня, ветровым волнением, а также глубиной водоема, определяющей соотношение света, тепла и кислорода в воде. Режим уровня определяет внутриландшафтные различия (поясность геосистем), регулирует аэрацию, термический режим, влияет на биологическую продуктивность. По этой причине при снижении уровня воды на осушаемых участках наблюдается наиболее быстрый биогенный оборот веществ. Морфологическое строение территории влияет на приток веществ с водосбора, а также на гидродинамическую активность. В условиях сильной гидродинамической активности формируются эродированные элювиальные фации с низким уровнем биологической продуктивности. В защищенных заливах со слабой проточностью образуются аккумулятивные фации, характеризующиеся высоким уровнем продуктивности и активным круговоротом биоэлементов.

По наблюдениям автора [13,14,15,16 и др.], открытые абразионно-эрозионные АК отличаются незначительным содержанием органического вещества в донных отложениях (ДО). В этих комплексах уровень биологического круговорота и степень его замкнутости очень низки. В защищенных от волнобоя заливах формируется круговорот веществ высокой степени замкнутости, что способствует активной биогенной аккумуляции и замедленному биогенному выносу вещества. Наиболее резко внутриводоемная (локальная) контрастность выражена в пустынях, где открытые геосистемы литорали с ничтожной продуктивностью сочетаются с зарослями тростника и рогоза, обладающими первичной продукцией до 100 т/га.

Замкнутость биологического круговорота различна в элементарных геосистемах, образующих геосистемное сопряжение. В открытых мелководных геосистемах уровень замкнутости растет с глубиной. В защищенных заливах приток вещества извне с водосбора сравнительно мал, не велика и его потеря. Ниже по склону в транзитных аквальных комплексах, сублиторали наблюдается сбалансированность потоков поступления и выноса элементов, близкая к равновесной. В подчиненных морфологических частях рельефа, занимающих более глубоководное местоположение, входные потоки вещества более велики и здесь возможна повышенная аккумуляция органического и минерального материала донных отложений с формированием в замкнутых понижениях дна «геохимических ловушек».

На региональном уровне геосистемы могут быть классифицированы по степени транзитности и замкнутости биологического круговорота на высокотранзитные (речные), умеренно транзитные (озерно-речные), слабо транзитные (озерные проточные) и нетранзитные (пелагиальные бессточные АК). По уровню замкнутости биологического круговорота выделяются замкнутые геосистемы с повышенной аккумуляцией минеральных и органических веществ и незамкнутые – с умеренной и слабой активностью накопления.

Региональные особенности уровня транзитности и накопления материала проявляются в зависимости от местоположения геосистемы в бассейне реки. В геосистемах верхних течений рек и водохранилищ механический вынос преобладает над привносом твердого вещества. В средних течениях размеры приходной и расходной частей баланса вещества постепенно выравниваются. Положительным балансом твердого вещества отличаются специфические аквальные комплексы с преобладанием процессов аккумуляции: дельтовые геосистемы, геосистемы затопленных пойм низменных аллювиальных равнин нижних течений рек.

Большой геологический и малый биологический круговороты вещества и энергии находятся под определяющим влиянием зональных особенностей климата. От климатических особенностей зависят степень гидролиза минералов и интенсивность выщелачивания водосборов. Зональность проявляется в поясности почвенных зон, слагающих водосборные бассейны и являющихся источником минерального вещества, которое в свою очередь влияет на зональность донных накоплений и водных масс. Наиболее четко зональность выражена в озерных ландшафтах, несколько слабее – в озерно-речных и особенно слабо – в речных ландшафтах.

В лимнологии идеи зональности развивали В.В. Алыбышев [3], Г.А. Максимович [11], М.А. Фортунатов [18], Н.В. Баранов [5], Б.Б. Богословский [6] и др. Лимнологические зоны почти совпадают с семью

природными зонами Земли: тропической, двумя аридными, двумя бореальными и двумя полярными. Они соответствуют основным зональным типам почв. Связь зонального накопления с географической и почвенной зональностью характеризует табл. 1. К азональным типам круговорота относятся аргиллотрофный, ацидотрофный, алкалитрофный и др.

В бореальном (гумидном) поясе коэффициент увлажнения больше 1. В результате из почв водосбора вымыты сульфаты и хлориды. Распад вторичных минералов преобладает над синтезом. На юге в черноземной зоне вынос в водоемы с водосборных бассейнов ионов Ca^{+2} больше, чем Mg^{+2} и Na^+ , а также $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{-2}$ и Cl^- .

Выделяемая при разложении органики CO_2 растворяет карбонатные породы, содержащие роговые обманки, – $\text{HCO}_3 > (\text{Ca} + \text{Mg})$. Источниками калия служат сульфиды. Разложение в почвах вторичных минералов обогащает водоемы окислами кремния и железа (выветривание ортоклаза, микроклина и слюд). Накапливающиеся сульфаты – продукт окисления пирита. Заболачивание водоемов обогащает озера и реки гумусовыми ацидоидами, имеющими ведущее значение в биохимическом обмене вещества. Гумусовые ацидоиды, выпадая на дно, связывают в прочные соединения Mn, Fe, Al, K, Mo, Zn, Cu, Co, V, U [1]. Лимногенез идет по эвтрофному и мезотрофному типам.

В полярном поясе условия, формирующие тип обмена вещества в озерах, включают низкие температуры, обилие воды во время таяния снега, мерзлую поверхность почв, чрезвычайно ограниченную биологическую и химическую деятельность живых организмов. При разрушении пород на водосборе главными действующими факторами является растворяющее гидролизующее действие воды (содержащей CO_2 и O_2) и агрессивное действие фульвокислот. Содержание последних составляет 20–30% от веса тундровых почв. Силикатные породы разрушаются под действием фульвокислот, что способствует обогащению стока SiO_2 . В результате преобладают кремнеземистые воды с разной примесью фульвокислот [11]. На первых стадиях формирования озер преобладают кремнистые осадки. По мере заиления органикой в полярных и среднеширотных озерах ведущая роль для физико-химического обмена переходит к фульвокислотам, осаждающим апокрены различных оснований. Лимногенез носит олиготрофный характер. Олиготрофные АК характеризуются малым количеством питательных веществ для водных организмов. Обычно эти комплексы с большой глубиной (30–70 м) и крутыми склонами, холодной и прозрачной водой от синего до зеленого цвета, высоким содержанием O_2 в гипolimнионе.

Т а б л и ц а 1

Типы зонального геологического круговорота вещества и энергии в аквальных комплексах по характеру лимногенеза и накопления в поглощающем комплексе [1]

Пояс Земли	Руководящие типы почв на водосборах	Тип круговорота вещества	Ведущие процессы, сопутствующие отложению органических илов и обломочных грунтов
Полярный	Почвы тундр Тундрово-глеевые Палевые таежные	Олиготрофный	Адсорбция коллоидным кремнеземом и фульвокислотами оснований Поглощение в кислой среде F_2O_3 , H_2O и P_2O_5
Бореальный	Подзолистые Серые лесные Кислые не оподзоленные	Мезотрофный	Адсорбция щелочноземельных и других металлов фульвокислотами и ульминовой кислотой
Аридный	Дерновые Бурые лесные Черноземы Каштановые	Эвтрофный	Адсорбция щелочноземельных и других оснований фульвокислотами и гуминовой кислотой
	Бурые пустынно-степные Серо-бурые Пустынные обычные	Галотрофный	Садка карбонатов, сульфатов и хлоридов из перенасыщенных растворов
Тропический	Серо-бурые и пустынные сильнощелочные	Содотрофный	Садка карбонатов и образование магнезиальных силикатов
	Красноземы Желтоземы Древние тропические почвы	Силлитотрофный Сидеротрофный	Адсорбция оснований коллоидным кремнеземом Адсорбция полуторными окислами (R_2O_3) оснований в щелочной среде и адсорбция ими P_2O_5 в кислотной среде

Дистрофные АК – бедны питательными веществами и кислотородом. Их вода слабо минерализована, с повышенной кислотностью, малой прозрачностью, желтым или бурым цветом из-за обилия гумино-

вых веществ. АК часто почти лишены фитопланктона и донных животных на покрытых торфянистым илом дне.

Каждый из перечисленных зональных типов круговоротов вещества на разных стадиях развития выглядит по-своему. Эти смены сопровождаются изменением гидробиоценозов.

Образование органического вещества (т.е. продукционный процесс) лежит в основе биогеохимического цикла. Около половины органического вещества, создаваемого при фотосинтезе, окисляется до CO_2 при дыхании и возвращается в атмосферу. Оставшаяся фитомасса является чистой первичной продукцией. Часть ее поступает в трофическую цепь и потребляется фитофагами, а затем зоофагами.

Схема биологического круговорота имеет следующую последовательность: запасы фитомассы – первичная продукция – опад – аккумуляция органического вещества. Интенсивность круговорота в гидробиоценозах определяется отношением чистой первичной продукции к мертвому органическому веществу, количеством элементов питания, их возвратом с опадом, приходом и уходом вещества из геосистемы. Продуктивность связана с географическими факторами и биологическими особенностями видов (у аналогичных жизненных форм запасы биомассы тем больше, чем выше теплообеспеченность и чем ближе к оптимуму соотношение тепла и влаги).

В АК в целом, как и на суше, накопление мортмассы происходит закономерно, с изменением температуры по географическим зонам. Географически закономерно по зонам изменяется емкость биологического круговорота, связанная с количеством вовлекаемого в оборот минерального вещества. Самая низкая емкость биологического круговорота — в тундре. В лесной зоне вовлекается больше минерального вещества. При этом последовательность вовлечения химических элементов следующая: 1-й ряд – N, K, Ca; 2-й ряд – P, Mg, S, Fe, Al.

Избирательность растительности к элементам меняется по зонам. В тундре и тайге сообщества больше всего потребляется N, затем Ca и K. В широколиственных лесах – Ca, N, K; степях – Si, N, K, Ca; пустынях – Ca, K, N и Mg, тропических и экваториальных лесах – Si, Fe и Al.

По данным Н.И. Базилевич [4], в подчиненных гидроморфных ландшафтах оборот вещества намного интенсивнее, чем в плакорных. При этом внешние абиогенные потоки соразмерны с внутренними биогенными, что можно отнести и к АК.

Абиотические потоки подчинены силе тяжести и в основном осуществляют внешние связи. Абиотическая миграция вещества отражает связь между частями ландшафта, осуществляя латеральный перенос материала. В АК она проявляется в форме твердых продуктов раз-

рушения и транспортировке веществ, образующих наносы. Кроме того, переносится вещество в ионной (водорастворимой) форме. Выходной абиогенный поток (сток взвешенных наносов), выраженный в виде среднего модуля стока (Мг), в тайге равен 5–10 т/км² в год, а средний слой смыва – 0,002–0,004 мм/год. В зоне широколиственных лесов – 10–20 т/км²; в лесостепи – 150 т/км²; в степи – 50–100 т/км². Можно выделить АК с положительным балансом твердого материала: дельты, русла, конусы выноса, зона аккумуляции в озерах.

Часть аквальных фаций характеризуется преобладанием локальных входных потоков вещества, они служат геохимическими ловушками. В открытых АК абиотические потоки разомкнуты; абиотическая миграция носит однонаправленный характер и ведет к потере вещества. Биотические потоки имеют характер круговоротов и способствуют удержанию вещества в ландшафте, выполняя в нем тем самым стабилизирующую функцию.

Роль незональных и зональных факторов в формировании биоты аквальных комплексов водохранилищ. Среди незональных факторов особую роль играют уровенный режим, морфология и морфометрия водохранилищ, которые вместе с ветроволновым воздействием формируют гидродинамические условия водоема.

Важным фактором процесса зарастания АК является уровенный режим водохранилищ, который во многом определяет характер и скорость формирования прибрежных фитоценозов. В АК водохранилищ годовичного регулирования со стабильным уровнем в течение всего вегетационного периода (Иваньковского, Киевского) уже через 5–10 лет формируются сообщества растений, распределение которых подчинено строгой зональности. На водоемах сезонного регулирования, наполняемых до постоянной отметки с постепенным падением уровня в течение периода вегетации (Угличское водохранилище), процесс формирования растительного покрова протекает более медленно. Для таких АК характерна сезонная смена аспектов, связанная с расширением площадей воздушно-водных видов по мере осушения мелководий. На водохранилищах многолетнего регулирования (Рыбинское, Куйбышевское, Каховское и др.) со значительным колебанием уровня по годам и постоянным падением в течение вегетационного периода возникают наиболее неблагоприятные условия для развития водной растительности. На таких водоемах растительный покров АК сильно нарушен: пятнист, группировки носят временный характер, макрофиты угнетены, из-за резкой частоты смены условий осушения и обводнения не происходит формирования устойчивых фитоценозов АК. Данные табл. 2 показывают влияние амплитуды колебания уровня в навигационный период на площади зарастания водохранилищ.

Таблица 2
Влияние амплитуды колебания уровня некоторых водохранилищ
на зарастание АК

Степень колебания уровня	Амплитуда, м	Зарастание площади мелководий, %	Водохранилища
Малая	Менее 1	42 51	Иваньковское Киевское
Небольшая	1–3	7 14	Волгоградское Горьковское
Средняя	3–10	5 12	Рыбинское Куйбышевское

Анализ собственных данных автора и наблюдений ряда других ученых свидетельствует о том, что на Иваньковском водохранилище стадии формирования фитоаквакомплексов соответствуют периодам уровня режима [9,16,17].

Таблица 3
Водный баланс некоторых водохранилищ [12]

Водохранилища	Полный объем, км ³	Площадь водного зеркала, км	Приход		Расход	
			поверхностный приток	осадки	сток	испарение
Рыбинское	25,4	3800	33,2	92	94	6
Камское	10,7	1570	98	2	98	2
Волгоградское	33,5	3500	99	1	99	1
Каховское	18,2	2160	98	2	96	4
Цимлянское	23,9	2320	96	4	91	9
Красноярское	73,3	1650	99	1	99	1
Братское	169,3	5000	98	2	90	2
Бухтарминское	53	4300	88	12	83	17
Кайракумское	4,2	398	99	1	97	3

В режиме аквальных комплексов водохранилищ играет существенную роль внешний и внутренний водообмен. Под внешним водообменом понимается замена находящихся в водоеме вод новыми, поступающими извне. Внутренний водообмен обусловлен различными видами движения воды в самом АК. Внешний водообмен характеризуется условными показателями, рассчитываемыми по элементам водного ба-

ланса. Географическая зональность существенно не влияет на соотношение основных составляющих водного баланса водохранилищ. Независимо от географической зоны в приходной части водного баланса господствует поверхностный приток с водосбора. Для всех водохранилищ приток с водосбора и сток из водоемов доминируют над остальными составляющими водного баланса. Испарение с водной поверхности водохранилищ в гумидных районах меньше величины атмосферных осадков, выпадающих на водоем, а в аридных – превышает ее в 1,5–5 раз.

Таблица 4
Степень водообмена и степень зарастания водохранилищ с различным типом регулирования

Степень водообмена	Водохранилище	Тип регулирования (летняя сработка)	Степень зарастания, %
Исключительно большая (меньше 0,1)	Саратовское	Недельное	0,4
	Угличское	Сезонное (1 м)	5,0
	Киевское	Сезонное (0,5 м)	32
	Иваньковское	Сезонное (0,5 м)	2,7
	Днепродзержинское	Недельное	9,3
Очень большая (0,1–0,24)	Волгоградское	Сезонное (0,5 м)	0,9
	Куйбышевское	Сезонное (2 м)	1,3
	Камское	Сезонное (0,5 м)	2,4
Большая (0,25–0,49)	Каховское	Сезонное (2–3 м)	2,0
	Кременчугское	Сезонное (2 м)	8,8
Средняя (0,5–0,99)	Рыбинское	Многолетнее (1,7–2,7 м)	1,3

Сопоставляя данные о степени водообменности и степени зарастания водохранилищ с различным типом регулирования, можно сделать вывод о весьма слабой связи этих параметров.

Ландшафтный облик водохранилищ тесно связан с их морфологией и морфометрией. Конфигурация водохранилищ весьма разнообразна и варьирует от узких водоемов, вытянутых вдоль русла, до расширенных, приближающихся по форме к неправильным эллипсам, многоугольникам и различным сложным разветвленным фигурам.

Форма и многие морфометрические показатели водохранилищ непрерывно, а часто и резко изменяются в зависимости от изменений в них уровня воды. По морфолого-морфометрическим показателям водохранилищ возможно различать русловые и озеровидные, речные и озерно-речные аквальные ландшафты. Детальный анализ строения территории позволяет выделить по конфигурации пойменные, долинные, озеровидные водохранилища и водохранилища сложной формы. Пойменные водохранилища по конфигурации сходны с рекой в период половодья. Долинные водохранилища также имеют удлинённую конфигурацию. В то же время их ширина значительно превышает ширину разливов реки, на которой они созданы. Озеровидные водохранилища по форме делятся на продолговатые, широкие, лопастные. Протяжённость удлинённых озеровидных водохранилищ в 3–10 раз больше их наибольшей ширины. У широких озеровидных водохранилищ длина главного плёса равна его ширине или превышает её не более чем в 2–2,5 раза. Водоохранилища сложной конфигурации делятся на несколько подгрупп. Чаще всего сложная конфигурация искусственного водоёма связана с расчленённостью рельефа или развитой гидрографической сетью затопленной территории.

Морфометрия водохранилищ влияет на процесс формирования растительности. Водоёмы с озеровидным плёсом, возникающие в затопленных междуречьях, менее подвержены зарастанию. Напротив, на водохранилищах с сильно рассечённой береговой линией процесс формирования растительного покрова протекает быстрее.

На более поздней стадии сукцессии фактор морфометрии определяет некоторые трофические особенности грунтов и вод мелководий, которые в свою очередь непосредственно влияют на процесс смены растительности. Наличие заливов и отшнурованных мелководий приводит к их интенсивному заболачиванию и соответствующим сменам фитоценозов. На открытых же участках литорали, несмотря на развитие растительности, не происходит накопления органических веществ в грунтах и не наблюдается заболачивания.

Существует определенная зависимость степени зарастания от площади водохранилища и его мелководий. На Волжском, Днепровском, Камском каскадах наблюдается прямая зависимость увеличения степени зарастания с увеличением площади водохранилища и площади мелководий. Анализ показывает, что чем больше площадь литорали, тем больше площади зарастающих АК, причем эта тенденция наблюдается на всех трех каскадах, на водоемах со всеми типами регулирования.

Морфометрические особенности во многом определяют накопленные фитомассы. Существует тесная связь площади мелководий и растительной фитомассы. Средняя фитомасса находится также в прямой за-

висимости от возраста водохранилища: чем меньше возраст АК, тем меньше фитомасса растительности.

Зональные особенности зарастания водохранилищ. Анализ флоры и растительности водохранилищ, находящихся в различных природных зонах, показывает, что существует определенная закономерность распространения растительности и отдельных видов растений в разных природных зонах.

Сравнение флор водохранилищ выявляет их некоторые различия в лесной, лесостепной, степной зонах. В большинстве водоемов представлены семейства типично водных растений, таких, как Geratophollaceae, Nymphaeaceae, Typhaceae и др. Виды именно этих семейств играют основную роль в сложении растительного покрова литорали водохранилищ.

Сравнение флор мелководий северных и южных водохранилищ показало, что из общего количества высших водных растений наибольшее число видов у осоковых и злаковых растений. В целом видовой состав АК водохранилищ лесной зоны намного разнообразнее состава растений степных водоемов. Однако в южных водохранилищах более широко представлены семейства Nymphaeaceae.

В водоемах лесной зоны европейской части страны из группы растений, погруженных в воду постоянным компонентом растительного покрова АК слабого и умеренного зарастания является *Ceratophyllum demersum*, в водохранилищах лесостепи и степи этот вид встречается значительно реже. Почти одинаково хорошо в водохранилищах всех зон развита *Lemna trisulca* и *Myriophyllum spicatum*. В лесной зоне распространена *Elodea canadensis*. В лесостепной и степной зонах это растение сравнительно редкое. Почти повсеместно в водоемах имеются *Potamogeton crispus*, однако в лесостепи он встречается уже реже, а в лесной зоне еще реже. Часто в водохранилищах всех зон встречаются рдесты – *Potamogeton lucens*, *perfoliatus*. При этом в АК лесостепи и степи они развиты шире, чем в лесной зоне.

Из плавающих растений в водохранилищах всех зон представлены *Lemna minor* и *Spirodela polyrrhiza*; преимущественно к водохранилищам лесной зоны приурочены *Hydrocharis morsusrahae*, *Nymphar lutea*, *Nymphaea candida* и *Potamogeton natantis*. В водохранилищах лесостепи и степи их мало. Из надводных растений в АК сильного зарастания в лесной зоне часто можно найти *Alisma plantagoaquatica*, *Equisetum fluviatile*, *Acorus calamus* и разные виды *Carex*; в лесостепных и степных водохранилищах они встречаются реже, а *Equisetum fluviatile* в степях не отмечен совсем.

Таблица 5

Виды растений, тяготеющие к определенным природным зонам

1. Встречаются только в лесной зоне	
1. <i>Ceratophyllum demersum</i> 2. <i>Elodea canadensis</i>	
2. Встречаются только в степной и лесостепной	
1. <i>Hydrocharisma morsus-ranae</i>	
3. Тяготеют к лесной зоне	
1. <i>Numpha lutea</i> 2. <i>Numpha candida</i> 3. <i>Potamogeton natans</i> 4. <i>Alisma plantago-aquatica</i>	5. <i>Equisetum fluviatile</i> 6. <i>Acorus calamus</i> 7. <i>Carex</i> 8. <i>Typha latifolia</i>
4. Тяготеют к лесостепной зоне	
1. <i>Potamogeton lucens</i> 2. <i>P. perfoliatus</i> 3. <i>Butomus bellafus</i> 4. <i>Sagittaria sagittifolia</i>	5. <i>Sparganium rectum</i> 6. <i>S. simplex</i> 7. <i>Typha angustifolia</i>
5. Тяготеют к степной зоне	
1. <i>Potamogeton lucens</i> 2. <i>P. perfoliatus</i>	
6. Распространены во всех зонах	
1. <i>Lemna trisulca</i> 2. <i>Myriophyllum spicatum</i> 3. <i>Potamogeton crispus</i> 4. <i>Lemna minor</i>	5. <i>Spirodela polyrrhiza</i> 6. <i>Polygonum amphibium</i> 7. <i>Eleocharis palustris</i> 8. <i>Phragmites australis</i>

В водохранилищах лесной и лесостепной зон распространены *Butomus bellafus*, *Sagittaria sagittifolia*, *Sparganium rectum*, *S. simplex*; в степной зоне они сравнительно редки.

В водохранилищах всех зон отмечены *Eleocharis palustris* и почти постоянны *Phragmites australis*, *Typha angustifolia*, *T. latifolia* и *Scirpus lacustris*. При этом первый из рогозов более распространен в лесостепной, а второй – в лесной зоне.

В Сибири *Ceratophyllum demersum* и *Lemna trisulca* встречаются очень редко в лесной зоне. *Elodea canadensis* весьма обычна, в то же время в лесостепи ее почти нет. Повсюду, как и в европейской части, в АК слабого зарастания встречаются *Myriophyllum spicatum*, *Potamogeton lusens* и *P. perfoliatus*. В лесостепных водохранилищах эти два вида рдестов, а также *P. rectihatus* являются массовыми, почти постоянными компонентами растительного покрова.

Из плавающих и с плавающими листьями растений в водохранилищах лесной и лесостепной зон азиатской территории страны хорошо развиты сообщества *Polygonum amphibium*, *P. aquaticum*, *Lemna minor* и др. Только в лесных водоемах встречается *Nymphaea pumila* и только в лесостепных найден *Hydrocharis morsus-ranae*. *Nymphaea candida* в водохранилищах Сибири встречается редко, а *Potamogeton natans* не найден, хотя он очень широко распространен в озерах этой территории и имеется в водохранилищах Урала

Из надводных растений АК сильного зарастания в Сибири в водохранилищах лесной зоны *Acorus calamus* отсутствует, в лесостепной он редок, только в лесной зоне часто встречаются *Sagittaria sagittifolia* и *Equisetum fluviatile*, а в лесостепных чаще, чем в лесных, – *Alisma plantago-aquatica*, *Butomus bellatus*, *Scripus lacustris*. *Scripus aeperhaemon* тау в водохранилищах Сибири встречается редко. Как и на европейской территории страны, здесь широко распространены *Pragmites australis*, *Typha latifolia* и различные виды *Carex*. *Typha latifolia* более представлен в водохранилищах лесной зоны, а *T. angustifolia* – в лесостепной и степной зонах (табл. 5).

Влияние географической зональности прослеживается не только в видовом составе, но и в формировании ее биомассы и годовой продукции. На рисунке показана зависимость средней фитомассы от географической широты.

Величина фитомассы возрастает с севера на юг на водохранилищах Волжского и Днепровского каскадов. В целом увеличение фитомассы в этом направлении связано общим ростом продукции естественного растительного покрова. Наибольшие значения величины фитомассы наблюдаются у большинства растительных сообществ в АК водохранилищ степной и лесостепной зон.

Таким образом, растения водохранилищ объединяются в три эколого-биологические группы: 1) погруженные в воду; 2) плавающие; 3) надводные, образующие АК слабого, умеренного и сильного зарастания. На развитие растительности АК оказывают влияние как зональные, так и незональные факторы. Стабильный уровеньный режим в течение вегетационного периода и большие площади мелководий определяют формирование стабильных сообществ растений в АК. При продвижении с

севера на юг растительный покров АК становится более однородным, резко возрастает роль тростниковых зарослей, выпадают из состава осочники, манники, кувшинковые, горцовые и некоторые другие сообщества. Как на Днепровском, так и на Волжском каскаде наблюдается увеличение фитомассы в АК с севера на юг. Влияние географической широты проявляется и на видовом составе: виды *Ceratophyllum demersum*, *Elodea canadensis* распространены только в лесной зоне; виды *Hydrocharismorsus-ranae* встречаются только в лесостепной и степной зонах; такие виды, как *Numpha lutea*, *N. Candida*, *Potamogeton natans*, *Carex*, *Typha latifolia*, *Acorus lamus*, тяготеют к лесной зоне; виды *Potamogeton lucens*, *Butomus bellasus*, *Sagittaria sagittifolia* и др. – к лесостепной и виды *Potamogeton lucens*, *Potamogeton perfoliatus* – к степной зоне.



Продуктивность естественного растительного покрова на европейской части России и СНГ (ц/га) и средняя фитомасса водохранилищ Волжского и Днепровского каскадов (т/га), с использованием данных Н.И.Базилевич [4]

Зональность рыбопродуктивности водохранилищ. Промысловая рыбопродуктивность существующих водохранилищ СНГ составляет от 1–2 до 40–45 кг/га. Наиболее высокой ихтиопродуктивностью характеризуются водохранилища степной и лесостепной зон, а наиболее низкой — водохранилища лесной зоны. Самой низкой рыбопродуктивностью отличаются водохранилища подзоны хвойных лесов. Малые показатели рыбопродуктивности имеют также АК водохранилищ полупустынь и пустынь. Аналогичным образом изменяется продуктивность

зообентоса и зоопланктона водохранилищ, служащих кормовой базой для рыб. Наблюдаемая закономерность изменения уровня развития кормовой базы рыб и величины рыбопродуктивности аквальных комплексов в зависимости от их географического положения находится в тесной связи с химическим составом питающих вод, характером водосборной площади, почвенного и растительного покрова и климатическими условиями отдельных природных зон.

На рыбопродуктивность водохранилищ существенно влияют морфометрические и гидрологические особенности аквальных комплексов. Малопроточные водохранилища (и их АК) с низким коэффициентом водообмена, как правило, имеют более высокие показатели рыбопродуктивности, чем высокопроточные ракообразные с высоким коэффициентом водообмена. Региональные различия в показателях рыбопродуктивности обусловлены азональными, преимущественно антропогенными, факторами. В наибольших масштабах мероприятия по направленному формированию рыбных запасов были проведены на Цимлянском и Каховском водохранилищах, благодаря чему в них достигнута самая высокая рыбопродуктивность (40—45 кг/га) при значительном преобладании в уловах таких ценных высокопродуктивных рыб, как лещ, судак, сазан и сом. При стихийном же формировании ихтиофауны господствующее развитие в водохранилищах получают обычно малоценные виды рыб (густера, плотва, красноперка, укляя, окунь, ерш и др.), обладающие низкими продуктивными свойствами.

Зональные черты процессов аккумуляции осадков в аквальных комплексах водохранилищ. Аквальные комплексы – это сложные водные геосистемы со специфической структурой и свойствами, являющиеся следствием разнообразных внутриводоемных и зональных процессов, образующие единый природно-антропогенный ландшафт.

Территория водосборов Волжско-Камского и Днепровского каскадов водохранилищ зональна по климатическим, почвенным, геоботаническим, гидрохимическим и другим условиям, оказывающим влияние на источники поступления осадкообразующего материала, а в итоге – на внутриводоемные процессы и отдельные компоненты АК.

По данным В.В. Законнова [10], географическая зональность осадкообразования выражена в увеличении темпов седиментации не только в среднем по водохранилищам, но и по участкам затопленного русла и долины (т.е. в отдельных АК) Волги от г. Твери до г. Волгограда, где скорости накопления осадков испытывают флуктуации, вызванные гидроморфометрическими особенностями (речные, озеровидные, приплотинные АК верхних и нижних бьефов гидроузлов) и гранулометрическим составом наносов (табл. 6). Эта закономерность наиболее четко проявляется в изменении интенсивности осадконакопления – суммарного осаднения

крупнодисперсных наносов и тонкодисперсных частиц. Типы осадкообразования в большей степени зависят от азональных факторов, связанных с особенностями режима эксплуатации, проточностью, уровнем воды и антропогенным воздействием.

Таблица 6
Темпы осадкообразования в водохранилищах Волги [10]

Водохранилище	Период, годы	Среднегодовое накопление		
		мм	млн. т	кг/ м ²
Иваньковское	53	2,1	0,5	1,8
Угличское	51	2,5	0,4	1,9
Рыбинское	51	2,9	6,4	1,8
Горьковское	44	2,8	2,6	2,1
Чебоксарское	20	2,3	2,6	2,7
Куйбышевское	47	4,4	14,6	2,9
Саратовское	39	3,7	5,6	4,3
Волгоградское	28	5,4	12,6	4,7
R ²		0,70	0,54	0,85

Примечание. R² – коэффициент детерминации.

В северных водохранилищах карбонаты кальция и магния преобладают, составляя до 90% растворенного минерального вещества. В южных растет значение хлоридных и сульфатных ионов. В умеренной зоне для большинства водохранилищ Волги, кроме Саратовского и Волгоградского, характерен гумидный тип лимногенеза (эвтрофный и мезотрофный варианты), свойственный водосборам с богатыми гумусом почвами и карбонатными материнскими породами. Мезотрофный тип формируется под влиянием стока вод с водосборов при меньшем щелочном резерве, чем при эвтрофном. Буферное соотношение – двуокись углерода/бикарбонаты – позволяет водным объектам евтрофироваться лишь до мезотрофного уровня [2].

Вклад биоты водохранилищ в процесс седиментации различен в литоральных и пелагиальных АК. Открытые литоральные и пелагиальные АК в большей мере формируются под влиянием абиотических факторов.

Защищенные (фитоаквакомплексы) в первую очередь – за счет биоты. При исследовании Волжско-Камских водохранилищ выявлена эколого-географическая зональность валовых деструкционных потоков, когда общее количество разрушаемого в осадках $C_{орг}$ (в среднем на водоем) уменьшается в каскаде с севера на юг: в водоемах Верхней Волги и Камы анаэробные процессы превалируют над аэробными, на Средней Волге они сбалансированы, в водоемах Нижней Волги преобладает аэробная минерализация [7]. Таким образом, интенсивность и направленность микробиологических процессов деструкции органического вещества в аквальных комплексах водохранилищ носят зональный характер. Следовательно, состав и свойства компонентов АК водохранилищ Волжского, Камского, Днепровского каскадов подчинены общей географической зональности.

Заключение. Внутрорегиональная контрастность аквальных геосистем в значительной мере связана с водным режимом водоема (режимом уровня и гидродинамической активности). В условиях сильной гидродинамической активности формируются эродированные элювиальные фации с низким уровнем биологической продуктивности. В защищенных заливах со слабой проточностью образуются аккумулятивные фации, характеризующиеся высоким уровнем продуктивности и активным круговоротом биоэлементов. Заболачивание обогащает АК в лесной зоне гумусовыми ацидоидами, которые, выпадая на дно, связывают в прочные соединения Mn, Fe, Al, K, Mo, Zn, Cu, Co, V, U. Лимногенез идет по эвтрофному и мезотрофному типам.

В АК в целом, как и на суше, накопление мортмассы закономерно с изменением температуры по географическим зонам. Географически закономерно по зонам изменяется емкость биологического круговорота, связанная с количеством вовлекаемого в оборот минерального вещества.

Часть аквальных фаций характеризуется преобладанием локальных входных потоков вещества, они служат геохимическими ловушками. В открытых АК абиотические потоки разомкнуты; абиотическая миграция носит однонаправленный характер и ведет к потере вещества. Биотические потоки имеют характер круговоротов и способствуют удержанию вещества в защищенных АК ландшафтов, выполняя в нем тем самым стабилизирующую функцию.

В АК водохранилищ годовичного регулирования со стабильным уровнем в течение всего вегетационного периода уже через 5–10 лет формируются сообщества растений, распределение которых подчинено строгой зональности. На водоемах многолетнего и сезонного регулирования с постепенным падением уровня в течение периода вегетации процесс формирования растительного покрова протекает более медленно.

Водные растения объединяются в три эколого-биологические группы: 1) погруженные в воду; 2) плавающие; 3) надводные, образующие АК слабого, умеренного и сильного зарастания. Изменение уровней стояния воды в водохранилищах неблагоприятно сказывается на развитии макрофитов. Чем стабильнее уровень режим в течение вегетационного периода, тем более стабильны сообщества растений. Чем больше площади мелководий водохранилищ, тем больше степень зарастания водохранилищ, а следовательно, выше биомасса растительности, распределение которой с севера на юг в целом подчиняется географической зональности. Процессы аккумуляции донных осадков имеют закономерный зональный характер, наиболее выраженный в их мощности и темпах осадкообразования. Интенсивность и направленность процессов деструкции органического вещества в АК также имеют зональные черты.

Список литературы

1. Абросов В.Н. Зональность большого или геологического круговорота вещества и энергии в озерах // Круговорот вещества и энергии в озерах. Новосибирск, 1975. С. 175-181.
2. Абросов В.Н. Зональные типы лимногенеза. Л., 1982.
3. Алабышев В.В. Зональность озерных отложений // Известия Сапропелевого комитета. М., 1932. Вып. 6. С. 64-74.
4. Базилевич Н.И., Гребенщикова О.С., Тишков А.А. Географические закономерности структуры и функционирования экосистем. М., 1986.
5. Баранов И.В. Лимнологические типы озер. Л., 1962.
6. Богословский Б.Б. О водообмене водных масс водных объектов // Круговорот веществ и энергии в озерных водоемах. Новосибирск, 1975. С. 270–275.
7. Дзюбан А.Н. Микробиологические процессы круговорота органического вещества в донных отложениях водохранилищ Волжско-Камского каскада // Водные ресурсы. 1999. Т. 26, № 4. С. 462–472.
8. Исаченко А.Г. Прикладное ландшафтоведение. Л., 1976.
9. Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. М., 1991.
10. Законнов В.В. Изменение структуры донных отложений в Рыбинском водохранилище // Водные ресурсы. 2007. Т. 29. С. 200–209.
11. Максимович Г.А. Химическая география суши. М., 1955.
12. Мировой баланс водных ресурсов. М., 1986.
13. Тихомиров О.А. Изменение растительности и грунтов в заливах Ивановского водохранилища // Информ. бюллетень Ин-та биологии внутренних вод АН СССР. Л., 1977. № 34. С. 28–30.

14. Тихомиров О.А. Географические проблемы водохранилищ. Калинин, 1985.
15. Тихомиров О.А. Влияние макрофитов на грунты и водную среду мелководий Ивановского водохранилища //Тезисы докл. Всесоюз. конф. по высшей водной растительности ИБВВ АН СССР. Борок, 1988.
16. Тихомиров О.А. Структура и функционирование аквальных комплексов суши // Университетская география: материалы юбил. науч. конф. МГУ. М., 2005. С.124- 129.
17. Тихомирова Л.К. Роль макрофитной растительности в формировании аквальных комплексов мелководий Ивановского водохранилища: Автореф. дис... канд. геогр. наук. Пермь, 1985.
18. Фортунатов М.А. О содержании и задачах развития балансового метода в лимнологии // Круговорот вещества и энергии в озерных водоемах. М., 1967. С. 71-73.
19. Экзерцев В.А. Продукция прибрежно-водной растительности Ивановского водохранилища // Бюл. Ин-та биологии водохранилищ. М., 1982. № 1. С. 19–21.

ZONALITY FEATURES OF THE AQUATIC COMPLEXES IN PLAIN WATER RESERVOIRS

O.A. Tikhomirov

Tver State University, Tver

Zonality features of the aquatic complexes in plain water reservoirs are discussed. Some material on zonality of plant cover, bottom sediments and water characteristics formation are presented.

Keywords: *geographical zonality, aquatic complexes, water reservoir.*

Об авторе:

ТИХОМИРОВ Олег Алексеевич – заведующий кафедрой физической географии и экологии Тверского государственного университета, e-mail: fisgeo@mail.ru