

УДК 551.312.48

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННОГО И ИСТОРИЧЕСКОГО ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ В ВОДОЕМАХ ПРИВОЛЖСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ И НИЗМЕННОГО ЗАВОЛЖЬЯ

Д. В. Иванов¹, Е. В. Осмелкин², И. И. Зиганшин¹

¹ Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, Казань, Россия

² Государственный природный заповедник «Присурский», Чебоксары, Россия

Приводятся результаты изучения современного и исторического осадконакопления в 66 разнотипных водоемах Средней Волги (пруды, озера) в пределах Чувашской Республики, Республики Татарстан и Республики Марий Эл. В физико-географическом отношении территория исследования расположена в провинциях Приволжской возвышенности и Низменного Заволжья. Выполнена оценка сезонной и многолетней динамики скорости аккумуляции донных отложений, дана характеристика основных типологических свойств поверхностных и стратифицированных седиментов (гранулометрический состав и органическое вещество). Установлено, что для Приволжской возвышенности и Низменного Заволжья характерен единый диапазон скорости озерного осадконакопления. Показатели аккумуляции вещества на текущем этапе природно-антропогенной трансформации лимнических систем региона находятся на уровне 1600 г/(м²·год). Региональные показатели интенсивности прироста отложений (3–7 мм/год) лежат в интервале среднемноголетних значений, характерных для озер и водохранилищ бассейна Средней Волги, отражая универсальные закономерности формирования осадков в водоемах, расположенных в сходных физико-географических условиях. Установлено преобладание аутигенного характера накопления донных отложений в водоемах Низменного Заволжья и терригенного – в Приволжской возвышенности. Темпы современного и исторического осадконакопления в водоемах отличает квазистационарность, свидетельствуя о доминирующей роли природных факторов в их седиментационном балансе. Разработана региональная шкала интенсивности осадконакопления и выполнено ранжирование водных объектов в зависимости от современной скорости аккумуляции осадков. Для большинства водоемов региона прогнозируется сохранение существующих темпов осадконакопления; наибольшие величины прироста отложений (более 6000 г/(м²·год)) ожидаются в зарастающих озерах Низменного Заволжья.

Ключевые слова: седименты; седиментационные ловушки; скорость аккумуляции отложений; озера; Средняя Волга.

D. V. Ivanov, E. V. Osmelkin, I. I. Ziganshin. A STUDY OF CONTEMPORARY AND HISTORICAL SEDIMENTATION IN WATERBODIES OF THE VOLGA UPLAND AND THE LOW-LYING TRANS-VOLGA REGION

The article presents the results of the study of contemporary and historical sedimentation in 66 waterbodies of different types in the middle course of the Volga (ponds, lakes) within

the Chuvash Republic, Republic of Tatarstan, and Republic of Mari El. In terms of physical geography, the study area is situated in the provinces Volga Upland and Low-lying Trans-Volga. Seasonal and long-term variation of the rate of sediment accumulation was assessed, the main typological properties of top-core and stratified sediments (texture and organic matter) were characterized. Volga Upland and Low-lying Trans-Volga region were found to have the same range of lacustrine sedimentation rates. At the current stage of the natural-anthropogenic transformation of the region's limnic systems, sediments are being accumulated at a rate of 1600 g/(m²·year). Regional sediment increments (3–7 mm/year) fall within the range of mean multiannual values typical for lakes and storage reservoirs in the Middle Volga drainage basin, representing the universal patterns of sedimentation in waterbodies situated under similar physico-geographical conditions. The autochthonous mode of sedimentation was found to prevail in waterbodies of the low-lying Trans-Volga region and the terrigenous mode in the Volga Upland. The pace of contemporary and historical sedimentation in the waterbodies is quasi-stationary, suggesting their sedimentation balance is governed by natural factors. A regional scale of sedimentation rates has been worked out, and the waterbodies were ranked by the current rate of sediment accumulation. It is predicted that current sedimentation rates will persist in a majority of the region's waterbodies; the highest sediment increments (more than 6000 g/(m²·year)) are expected for overgrowing lakes in the low-lying Trans-Volga region.

Key words: sediments; sediment traps; rate of sediment accumulation; lakes; Middle Volga.

Введение

Среди сложных и многообразных системобразующих процессов функционирования водных экосистем одними из ключевых являются процессы седиментации взвешенных веществ органической и минеральной природы и результирующая их стадия – осадконакопление. Формирующиеся при этом донные отложения, как известно, на качественном и количественном уровнях отражают не только современную картину природно-антропогенной трансформации экосистем озер и водохранилищ, но и те эволюционные изменения природной среды, которые были характерны для водоема и его водосборного бассейна в обозримом историческом масштабе времени. Послойный характер формирования отложений позволяет реконструировать палеогеографическую и геохимическую обстановку и динамику водных сообществ на основе широкого спектра подходов, используемых в современной палеолимнологии. Результаты исследований показателей современного и исторического осадконакопления и определения качественного состава поверхностных и стратифицированных отложений предоставляют возможность для объективного прогноза эволюционного развития водной экосистемы, учитывающего, среди прочих тенденций, скорость аккумуляции вещества в ложе водоема.

Седименты, их состав и свойства отражают особенности той ландшафтной зоны, в которой находится водоем, поэтому изучение ре-

гиональных аспектов формирования осадков представляет значительный научный интерес. С учетом географической зональности процессов формирования донных отложений представляется важным поиск единых закономерностей осадконакопления в разнотипных водных объектах региона Средней Волги – реках, озерах и водохранилищах.

Началом современного этапа истории изучения водоемов Среднего Поволжья и их донных отложений явились исследования Казанского отдела гидрологии и водных ресурсов СевНИИГиМ, проведенные в 1960–70-х гг. В этот период были получены сведения о морфометрии, гидрохимии, термическом режиме и других характеристиках более 300 озер региона, изложенные в монографии «Озера Среднего Поволжья» [1976]. В ней содержатся и краткие сведения о составе донных отложений водоемов Татарстана, Чувашии, Марий Эл и Ульяновской области, которые носят по большей части справочный характер. В последнее десятилетие были проведены исследования, направленные на определение показателей скорости накопления и основных свойств донных отложений озер и водохранилищ на территории Республики Татарстан [Иванов, Зиганшин, 2006; Иванов и др., 2007, 2011а, б, в, 2016 и др.]. Цель настоящей работы заключалась в количественной оценке скорости современного и среднемноголетнего осадконакопления в природных и искусственных водоемах Средней Волги, расположенных в различных физико-географических условиях.

Материалы и методы

С целью установления общих закономерностей современного и исторического осадконакопления в разнотипных водоемах Средней Волги, в период с 2007 по 2015 гг. нами были выполнены седиментологические исследования 66 водных объектов на территории Чувашской Республики, республик Татарстан и Марий Эл. В физико-географическом отношении указанные водные объекты расположены в пределах провинций Приволжской возвышенности и Низменного Заволжья [Физико-географическое..., 1964] (рис. 1). По происхождению озерных котловин они относятся к карстовым, междюнным, пойменным и искусственным (пруды, карьеры и копани) водоемам (табл. 1).

Лимнологические исследования озер включали в себя широкий спектр определяемых показателей, в т. ч. их морфометрических характеристик, степени зарастания и прозрачности воды. Глубины определяли при помощи эхолота и лота с храпцом. Координаты точек промеров глубин фиксировали GPS-навигатором Garmin CSx 76.

Для сравнительного изучения процессов современного и многолетнего осадконакопления из общего количества обследованных водоемов было выбрано 17 «модельных» озер разнотипного (природного и искусственного) происхождения, расположенных в различных физико-географических районах (рис. 1, табл. 2).

Исследования современных седиментационных процессов в озерах выполнялись с применением ловушек стаканного типа. Седиментационные ловушки устанавливались на дно в наиболее глубокой точке водоема, определяемой по результатам батиметрических ис-

Таблица 1. Распределение исследованных водоемов по генезису котловин

Table 1. Distribution of the studied waterbodies according to the genesis of lake basins

Генезис Genesis	Низменное Заволжье The low-lying Trans-Volga region	Приволжская возвышенность The Volga Upland	Всего In all
Карстовые Karstic	3	9	12
Междюнные Interdunal	4	-	4
Пойменные Flood plain	1	14	15
Искусственные Artificial	1	34	35
Итого Total	9	57	66

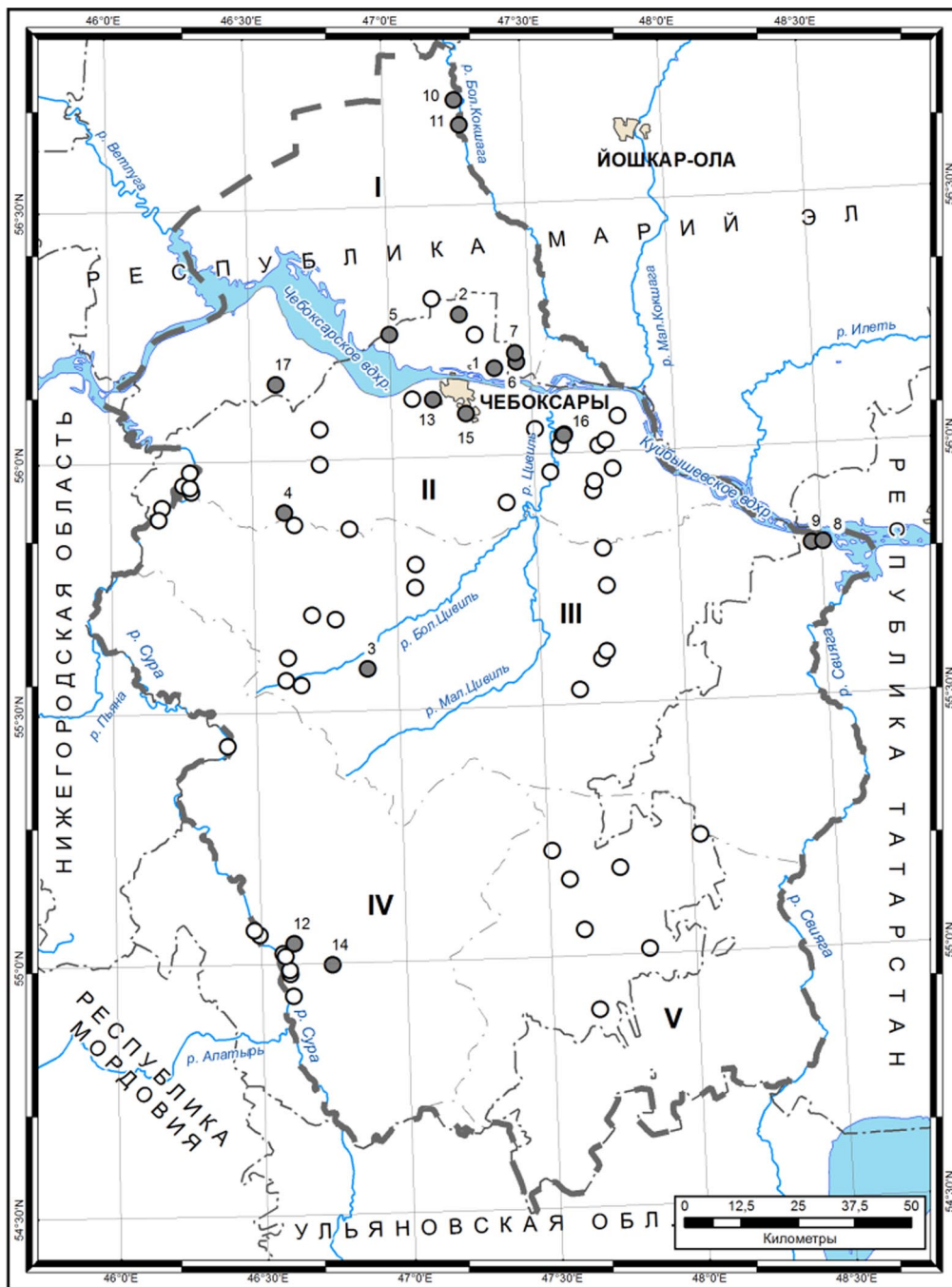
следований. Сроки установки варьировали от сезона до календарного года. Полученный седиментационный материал высушивался и взвешивался. Данные о массе осадка использовались для расчетов скорости осадконакопления за соответствующий временной интервал ($г/(м^2 \cdot сутки)$, $г/(м^2 \cdot год)$, $мм/год$). Указанная величина обозначена как «скорость современного осадконакопления» и используется далее по тексту при описании текущей скорости осадконакопления в озерах.

Известно, что с течением времени донные отложения трансформируются и уплотняются. Это обуславливает разницу между мощностью ежегодно поступающего осадка и его вкладом в структуру многолетних отложений. С учетом сказанного пересчет массы фактического поступления вещества на единицу площади ($г/м^2$) в величину прироста отложений ($мм$) производился с учетом среднего по колонке объемного веса.

В отличие от метода седиментационных ловушек стратиграфический метод позволяет уловить среднемноголетние тенденции осадконакопления. С целью определения исторической скорости накопления осадков в наиболее глубоких частях котловин 48 водных объектов естественного и искусственного происхождения трубками ГОИН ТГ-1.0 и ТГ-1.5 был выполнен отбор кернов отложений. Их мощность варьировала от 20 до 116 см. При полевом описании керна в первую очередь отмечали наличие в нем слоистости, обусловленной годовой цикличностью осадконакопления, а также цвет, консистенцию, плотность, морфологические особенности. Величину среднемноголетнего прироста отложений естественных озер оценивали путем усреднения данных о мощности выделяющихся в толще осадка годовых слоев.

С учетом в целом низкой величины озерности территории Чувашии [Озера..., 1976] особое внимание в ходе исследований уделялось искусственным водоемам, возраст которых оценивался по архивным [Инвентаризация..., 2003] и литературным данным. Установлено, что основная часть прудов, расположенных на территории Чувашии и сопредельных с ней регионов, были образованы в 1960-е годы, однако имеется и ряд водных объектов с более поздним сроком создания. Таким образом, средний возраст прудов на момент проведения исследований оценивается в 50 лет.

В каждом из 35 исследованных прудов в отобранных кернах донных отложений зафиксировано наличие «маркерного» слоя, отличающегося специфическими морфологическими признаками, позволяющими идентифициро-



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- Модельные водоёмы
- Изученные водоёмы
- Границы субъектов РФ
- Границы региона исследований
- - - Границы физико-географических районов

Рис. 1. Карта-схема расположения исследованных водоёмов:

Низменное Заволжье: I – Ветлужско-Кокшагский полесский район; *Приволжская возвышенность:* II – Чебоксарский возвышенно-равнинный район со зрелым эрозийным ландшафтом, III – Цивиль-Кубнинский возвышенно-равнинный лесостепной район эрозийного ландшафта, IV – Засурский полесский район смешанных лесов, V – Средне-Свияжский возвышенно-равнинный оstepенный район. 1–17 – номера модельных водоёмов

Fig. 1. A schematic map of the studied waterbodies:

The low-lying Trans-Volga region: I – Vetluzhsko-Kokshagsky polessky (woodland) region; *The Volga Upland:* II – Cheboksarsky elevated plain region with mature erosive landscape; III – Tsvil-Kubninsky elevated plain forest-steppe region with erosive landscape; IV – Zasursky polessky (woodland) region of mixed forests, V – Middle Sviyazhsky elevated plain steppe region. 1–17 – numbers of model waterbodies

Таблица 2. Параметры установки седиментационных ловушек

Table 2. Parameters of sediment traps installation

№ п/п* No.	Название водоема Waterbody	Средняя глубина, м Average depth, m	Максимальная глубина, м Maximum depth, m	Глубина установки, м Installation depth, m	Годы наблюдений Years of survey
Озера Lakes					
1	Астраханка Astrakhanka	1,1	2,3	2,3	2007–2009
2	Изъяр Izyar	2,7	6,4	5,0	2007–2009
3	Кюльхири (Вурнарское) Kyulkhiri (Vurnarskoye)	3,2	13,2	5,0	2007–2009
4	Сюткюль Syutkyul	2,6	16,1	16,1	2007–2010
5	Светлое Svetloye	3,4	18,2	7,0; 15,0	2007–2012
6	Большой Юлуксьер Bolshoi Yuluksyer	1,8	2,4	1,6; 2,0; 2,6	2007–2013
7	Малый Юлуксьер Maly Yuluksyer	1,7	2,4	2,0	2007–2012
8	Собакино Sobakino	2,0	3,9	3,5	2007–2008
9	Провальное Provalnoye	5,0	11,0	11	2007–2011
10	Шушер Shusher	4,0	12,2	12	2008
11	Старица р. Бол. Кокшага Staritsa Bol. Kokshaga Riv.	1,5	4,5	4,0	2008
12	Большой Буймас Bolshoi Buimas	1,5	4,5	4,0	2014
Пруды Ponds					
13	Чапаевский (1988**) Chapayevsky (1988**)	5,7	8,2	5,0; 6,0	2008–2009
14	Карьер ГПЗ «Присурский» (1985) Quarry in the Prisursky Nat. Reserve (1985)	0,6	2,5	2,0	2007–2011
15	Ботсад г. Чебоксары (1960) Bot. garden in Cheboksary (1960)	1,9	5,3	5,0	2007
16	Ельники-2 (1985) Elnikovo-2 (1985)	1,3	5,4	3,5	2008–2011
17	Виловатово (1962) Vilovatovo (1962)	1,9	4,5	4,5	2008

Примечание. * Расположение водоемов см. на рис. 1; ** в скобках указан год образования пруда.

Note. * See Fig. 1 for the location of the waterbodies; ** the years of ponds formation are given in brackets.

вать возраст отложений, даже при отсутствии ясно выраженной слоистости. Как правило, этот слой представлен затопленными почвами (грунтами) ложа водоема или речными русловыми отложениями. Наличие маркерного слоя, возраст которого известен, предоставило возможность не только достаточно точно и объективно оценить фактическую мощность накоп-

ленных в водоеме за определенный период отложений, но и рассчитать среднюю скорость осадконакопления. Средняя мощность вторичных отложений искусственных водоемов региона составила 40 см при вариации 10–75 см в зависимости от времени их создания, а также соотношения основных источников грунтообразующего материала.

Таблица 3. Типология донных отложений водоемов региона

Table 3. Typology of bottom sediments in the waterbodies of the region

Подгруппа Subgroup	Тип Type	Частицы <0,01 мм, % Particles <0,01 mm, %	ППП, % LOI, %	Доля типов отложений, % Percentage of sediments, %
Минеральные (неорганические) Mineral (inorganic)	Пески Sands	0–5	0,5	0,5
	Илистые пески Silty sands	5–10	5,2	3,4
	Песчанистые илы Sandy silt	10–30	9,2	27,6
	Глинистые илы Clayed silt	> 30	17,5	60,3
Органические Organic	Торфогенный (переходный) ил Peat generating (transitional) silt	-	30–40	1,7
	Торфянистый ил Peat-like silt	-	40–70	3,4
	Отложения из макрофитов Macrophyte sediments	-	> 70	3,5

В осадках из седиментографов и образцах донных отложений послойно (через каждые 5 (10) см) определяли объемный вес и влажность, гранулометрический состав пипеточным методом по Н. А. Качинскому, содержание органического вещества по потерям при прокаливании (ППП) при 550 °С. Выделение типов донных отложений выполнено на основе классификации В. П. Курдина и Б. И. Новикова, модифицированной В. В. Законновым [2007].

Статистическая обработка данных осуществлялась с использованием пакета Statistica 10.0. Для оценки средних использовали медиану вариационного ряда, а для установления показателей корреляционной связи и сравнения выборок данных – непараметрические критерии.

Результаты и обсуждение

В количественном отношении на территории Приволжской возвышенности и региона в целом доминируют минеральные отложения, они отмечены в 91,4 % водоемов и представлены всеми типами, от песков до глинистых илов с содержанием пелитовых частиц 5–84 %, преобладающими являются глинистые и песчанистые илы (табл. 3).

В донных отложениях водоемов Низменного Заволжья на первое место выходит органическая составляющая, что обусловлено ландшафтными особенностями территории – песчаным характером почв и грунтов, высокой залесенностью и заболоченностью, почти полным отсутствием эрозионного смыва, а также генезисом озерных котловин и характером биопродукционных процессов в них. Группа органических осадков представ-

лена здесь торфогенными и торфянистыми илами и отложениями из макрофитов, содержащими различное количество органического вещества (табл. 3). На территории Приволжской возвышенности указанные типы отложений отмечены в пойменных озерах Присурья и в зарастающих старицах других рек, где увеличивается вклад макрофитов в первичную продукцию.

Результаты определения скорости современного осадконакопления показали, что поступление вещества в водоемы региона происходит в среднем на уровне 1600 г/(м²·год) при вариабельности от 70 до 11 000 г/(м²·год) (табл. 4). Различия в показателях аккумуляции веществ в донных отложениях водоемов Приволжской возвышенности и Низменного Заволжья оказались статистически недостоверны ($p < 0,05$), что свидетельствует о специфическом характере взаимодействующих процессов, определяющих итоговое значение этой величины. Близкие к исследуемым водоемам показатели осадконакопления были установлены для Чебоксарского и Куйбышевского водохранилищ р. Волга [Законнов и др., 2007; Законнов, Законнова, 2008]. Все это подтверждает высказанное нами ранее предположение [Иванов, Зиганшин, 2006], что в пределах Среднего Поволжья средняя скорость современного осадконакопления в водоемах различного типа (озера, пруды, водохранилища) находится на одном уровне.

При сравнении величин осадконакопления, рассчитываемых на количество поступающего вещества (г/(м²·год)) и на мощность ежегодно откладываемого осадка (мм/год), проявляется диспропорция, связанная с различиями

Таблица 4. Показатели осадконакопления в водоемах региона

Table 4. Indicators of sedimentation in the waterbodies of the region

Показатели Indicators		В среднем по региону Regional average	Приволжская возвышенность The Volga Upland	Низменное Заволжье The low-lying Trans- Volga region
Современное осадконакопление, г/(м ² ·год) Contemporary sedimentation, g/(m ² ·year)	Me*	1632,3	1676,1	1628,8
	M ± m	2154,8 ± 292,9	2003,0 ± 386,0	2289,0 ± 459,9
	min–max V, %	72,7–10660,0 94	72,7–6522,2 94	311,1–10660,0 67
Современное осадконакопление, мм/год Contemporary sedimentation, mm/year	Me	4,7	4,3	12,5
	M ± m	12,0 ± 1,9	5,0 ± 1,0	12,5 ± 3,2
	min–max V, %	0,2–76,2 112	0,2–19,2 92	2,8–76,2 66
Среднегодовое осадконакопление, мм/год Long-time average sedimentation, mm/year	Me	3,8	2,8	12,5
	M ± m	8,5 ± 1,5	4,6 ± 0,8	12,5 ± 3,2
	min–max V, %	0,2–33,1 98	0,2–10,2 64	1,47–33,1 74

Примечание. *Me – медиана, M ± m – среднее арифметическое и ошибка среднего, min–max – пределы варьирования, V – коэффициент вариации.

Note. *Me – median, M ± m – arithmetical mean and error in mean, min–max – limits of variation, V – variation coefficient.

в плотности отложений водоемов исследуемых географических провинций (табл. 4). Донные отложения озер Заволжья – это водонасыщенные сапропели с низким объемным весом (~0,1–0,2 г/см³), величина которого сохраняет стабильность по глубине керна. Они формируются за счет аутигенного органического детрита и лесного опада, перемещаемого в водоемы из прилегающих лесных массивов. Преимущественно минеральные по составу глинистые отложения озер Предволжья, представленные терригенными частицами почв и пород водосборных бассейнов, характеризуются большей плотностью, меняющейся, как правило, от 0,4 до 0,8 г/см³. Отсюда при одинаковых средних величинах поступления вещества на единицу площади дна скорости накопления отложений, выраженные в мощности осадка, накопленного за единицу времени (мм/год), отличаются. В озерах Заволжья ежегодно образуемая высота слоя отложений почти в 3 раза выше, чем в водоемах Приволжской возвышенности. Тем не менее на большей части территории региона скорости осадконакопления, определяемые высотой осадочного слоя, также укладываются в диапазон значений, характерных для озер, прудов и водохранилищ Средней Волги, – 3–7 мм/год [Иванов, Зиганшин, 2006; Законнов и др., 2007; Иванов и др., 2011a], в среднем составляя 5 мм/год. Сравнение скоростей современного и среднегодовое осадконакопления на уровне географических провинций и региона в целом показало, что они являются достаточно близкими (табл. 4).

Проведенный нами сравнительный анализ показателей скорости формирования донных

отложений учитывал уровень «охвата» географического пространства и свойственные для каждого уровня диапазоны проявления факторов осадконакопления. Вполне ожидаемо, что для каждого из рассматриваемых физико-географических районов были характерны свои пространственно-временные флуктуации, которые, как показано выше, при усреднении данных применительно к масштабу провинций полностью нивелировались (табл. 5). Например, интенсивное осадконакопление в водоемах Засурского района обязано как поступлению биогенного материала с территории лесистых водосборов, так и значительному вкладу в прирост отложений образуемого в этих макрофитных озерах внутриводоемного органического вещества. Пруды, расположенные на малых реках, закономерно отличались от естественных озер более высокими темпами формирования осадков за счет увеличения выноса терригенного вещества с обширных речных водосборов, но в пространственном отношении установленные скорости осадконакопления в искусственных водоемах представляются достаточно выровненными (табл. 5). Как известно, пруды лесостепной зоны в целом отличаются высокой наносодерживающей способностью, что, как отмечала М. Я. Прыткова [1982], позволяет при обобщении данных по осадконакоплению в них не учитывать проточность.

Таким образом, скорость осадконакопления в водоемах Приволжской возвышенности и Низменного Заволжья имеет признаки квазистационарности, когда совокупное количество органических и минеральных осадков, аккумулируемых в течение длительного историче-

Таблица 5. Средние показатели осадконакопления в водоемах физико-географических районов

Table 5. Average values of sedimentation in waterbodies of the physico-geographical regions

Показатели Index	Физико-географические районы Physico-geographical regions				
	Ветлужско-Кокшагский Vetluzhsko-Kokshagsky	Чебоксарский Cheboksarsky	Цивиль-Кубнинский Tsvivil-Kubninsky	Засурский Zasursky	Средне-Свияжский Middle-Sviyazhsky
Современное осадконакопление Contemporary sedimentation					
г/(м ² -год) g/(m ² -year)	1628,8	1993	651	3710	-
мм/год mm/year	12,5	2,3	3,0	11,1	-
Среднегодовое осадконакопление в озерах Long-time average sedimentation in lakes					
мм/год mm/year	12,5	2,8	1,3	8,2	6,4
Среднегодовое осадконакопление в прудах Long-time average sedimentation in ponds					
мм/год mm/year	14,8	12,5	9,5	11,4	9,8

Примечание. Прочерк означает отсутствие данных.

Note. "-" means no data.

ского периода, может быть охарактеризовано относительно постоянной величиной.

Известно, что скорость поступления веществ на дно водоемов подчинена сезонным колебаниям и обусловлена периодичностью явлений в природной среде, в первую очередь биоклиматического характера. Как для терригенных, так и для аутигенных осадков приоритетное значение имеет период открытой воды, когда в водоеме активно накапливаются вещества минерального и органического происхождения. Хемогенные осадки могут образовываться и в подледный период, однако скорости химических реакций, приводящих к их образованию, увеличиваются с повышением температуры среды.

Рассмотрим некоторые особенности сезонной динамики осадконакопления на примере четырех водоемов (рис. 2).

В проточном искусственном оз. Астраханка (Низменное Заволжье) наиболее интенсивное поступление вещества в донные отложения – в среднем 7,2 г/(м²-сут.) – наблюдалось в весенний период, в 2,2 раза превышая летнее осадконакопление. Это обусловлено тем, что основная масса взвешенных веществ, составляющих приходную статью в седиментационном балансе этого проточного водоема, поступает в ходе весеннего половодья.

В оз. Большой Юлуксьер, также расположенном в Заволжье, напротив, преобладает летний приток вещества. Водоем окружен торфяной сплавиной, площадь которой сопоста-

вима с площадью открытого водного зеркала. Основную долю в составе отложений занимает органический детрит (до 70–80 % по массе), состоящий из полуразложившейся высшей водной растительности. В течение лета на 1 м² дна накапливается до 2 кг органических осадков, прирост которых достигает 20 мм. Учитывая, что Б. Юлуксьер отличается незначительной средней глубиной (1,8 м), прогноз изменения глубины водоема в случае сохранения темпов осадконакопления негативный: в течение 20–25 лет озеро может полностью потерять водную поверхность. Важно отметить, что при наличии выраженной сезонной динамики усредненная за год скорость накопления вещества в озерах Астраханка и Б. Юлуксьер выражается одной величиной – 5 г/(м²-сут.).

В Засурском полесском районе (карьер в ГПЗ «Присурский») до 90 % от общей аккумуляции веществ в донных отложениях происходит в конце лета – начале осени. Как и другие водоемы района, карьер располагается в смешанном лесу, поэтому формирование озерных осадков в значительной мере происходит за счет органической составляющей – отмирающих остатков растительности и лесного опада.

Скорость накопления вещества в пруду Ботанического сада (Чебоксарский возвышенно-равнинный район) отличает отсутствие выраженного сезонного пика. В отличие от рассмотренных выше водоемов здесь на осадконакопление оказывает влияние расположение водосборного бассейна на urba-

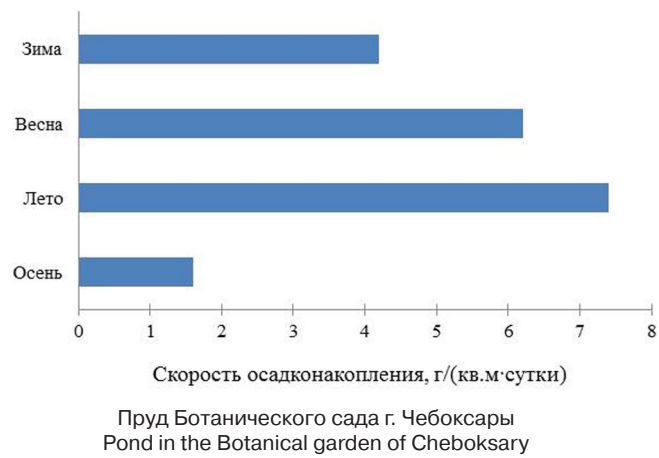
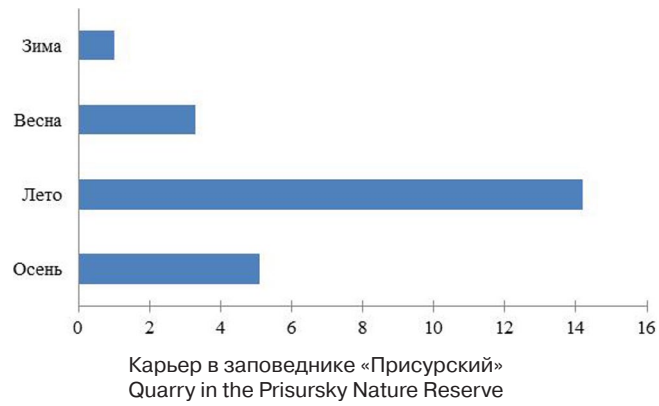
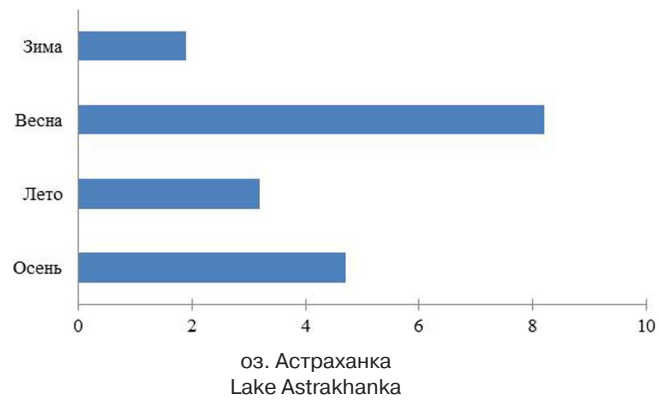
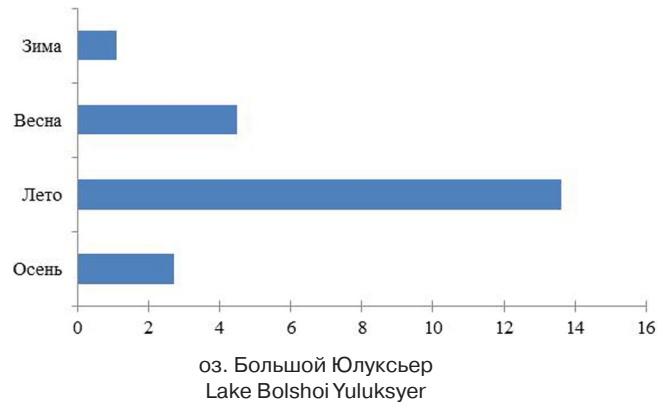


Рис. 2. Сезонная динамика осадконакопления в модельных водоемах
Fig. 2. Seasonal dynamics of sedimentation in model waterbodies

Таблица 6. Шкала интенсивности осадконакопления в водоемах региона

Table 6. The scale of sedimentation intensity in the waterbodies of the region

Класс Class	Подкласс Subclass	Поступление вещества, г/(м ² -год) Substances entry, g/(m ² -year)	Интенсивность осадконакопления Sedimentation intensity
I Слабая Weak	1	<2000	Очень слабая Very low
	2	2000–4000	Слабая Low
II Средняя Middle	3	4000–6000	Умеренная Moderate
	4	6000–8000	Интенсивная Intense
III Сильная Strong	5	8000–10 000	Высокая High
	6	>10 000	Очень высокая Very high

низированной территории, где на природные факторы поступления и накопления вещества накладывается антропогенный, регулируя объемы стока растворенных и взвешенных веществ. При средней величине осадконакопления 4,9 г/(м²-сут.) минимальные ее значения отмечались в осенний период, когда они не превышали 2,0 г/(м²-сут.).

Рассчитанная нами по итогам 7-летних исследований среднесуточная величина осадконакопления 4,5 г/м² по своей сути представляет собой фоновый, т. е. наиболее типичный количественный показатель аккумуляции вещества в водоемах региона на современной стадии их природно-антропогенной трансформации. Полученные значения могут быть с высокой степенью достоверности экстраполированы и на неизученные водные объекты Чувашии, а также на водоемы других регионов со сходными физико-географическими условиями.

Для количественной и качественной оценки скорости современного осадконакопления в водоемах Низменного Заволжья и Приволжской возвышенности была разработана соответствующая шкала. Весь диапазон изменчивости сезонных и годовых показателей поступления вещества был разбит на интервалы. Величина интервала определялась с помощью формулы Стерджеса [Зайцев, 1984]:

$$c = \frac{0.301(x_N - x_1)}{\lg N},$$

где c – величина классового интервала, x_N – максимальная варианта выборки, x_1 – минимальная варианта, N – объем выборки.

Региональная шкала интенсивности осадконакопления включает в себя 3 класса и 6 подклассов (табл. 6). В регионе преобладают водоемы с очень слабой скоростью поступления вещества (1 подкласс), не превышающей

2000 г/(м²-год): их доля составляет 81 % исследованных водных объектов. Оставшиеся водоемы характеризуются от слабого до интенсивного уровнями осадконакопления. Высокие и очень высокие показатели поступления вещества в донные отложения наблюдались в отдельные сезоны только в оз. Б. Юлуксьер. Во всех водоемах по итогам анализа морфометрических данных выявлены черты старения и трансформации озерной котловины [Осмелкин и др., 2013]. В частности, старение мелководных озер Заволжья связано с их повышенной чувствительностью к изменению среднегодового количества осадков как основного источника водного питания и с активным зарастанием.

Полученные расчетные данные в совокупности с оценкой современных показателей накопления осадков позволяют формулировать прогнозы заиления водоемов Чувашии в разрезе физико-географических районов. Наибольшие темпы осадконакопления следует ожидать на территории Ветлужско-Кокшагского полесского района (Низменное Заволжье).

Заключение

Проведенные впервые с учетом провинциальных физико-географических особенностей территории комплексные исследования донных отложений и процессов осадконакопления в разнотипных водоемах Чувашской Республики позволили количественно оценить скорости современного и среднемноголетнего накопления вещества, характерные для природных и искусственных озер региона. Отмечено преобладание аутигенного накопления осадков в озерах провинции Низменного Заволжья и терригенного – в водоемах Приволжской возвышенности.

В целом для территории Заволжья и Предволжья выявлен широкий диапазон скорости озерного осадконакопления – от 70 до 11 000 г/(м²·год). При этом средние показатели аккумуляции вещества на современном этапе природно-антропогенной трансформации лимнических систем региона находятся на едином для исследуемых провинций уровне – 1600 г/(м²·год).

Установлено, что региональные показатели интенсивности прироста донных отложений в водоемах Чувашии лежат в интервале среднемноголетних значений, характерных для озер и водохранилищ бассейна Средней Волги, – 3–7 мм/год. Таким образом, полученные данные свидетельствуют об универсальных закономерностях формирования осадков в водоемах, расположенных в сходных физико-географических условиях. Не менее значимым является тот факт, что темпы современного и исторического осадконакопления в водоемах приволжской и заволжской географических зон республики имеют признаки квазистационарности, свидетельствующие о доминирующей роли природных факторов в седиментационном балансе озер.

Выявленные в результате длительных стационарных наблюдений некоторые специфические черты динамики поступления вещества в котловины озер, хотя и модулируются совокупностью разнонаправленных факторов среды, при переходе от средних за сезон к среднегодовым и среднемноголетним скоростям осадконакопления в пространственном отношении полностью сглаживаются. Это дает возможность оперировать репрезентативными среднемноголетними величинами аккумуляции при проведении балансовых расчетов потоков вещества в системе «водосбор – озеро» и при прогнозах интенсивности заиления водоемов.

По итогам мониторинга современных процессов аккумуляции вещества была разработана региональная шкала интенсивности осадконакопления в озерах Чувашии, на основе которой выполнено ранжирование водоемов Низменного Заволжья и Приволжской возвышенности по классам в зависимости от скорости осадконакопления. Для большинства озер можно ожидать сохранения существующих темпов заиления, наибольшие же величины прироста отложений (более 6000 г/(м²·год)) прогнозируются в зарастающих озерах Ветлужско-Кокшагского полесского района.

Полученные данные о скорости осадконакопления в озерах Чувашской Республики могут быть использованы при разработке широкого спектра водохозяйственных мероприятий, направленных на их сохранение и экологическую реабилитацию водных объектов региона.

Литература

Ермолаев О. П. Эрозия в бассейновых геосистемах. Казань: Унипресс, 2002. 264 с.

Зайцев Г. Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1984. 425 с.

Законнов В. В. Осадкообразование в водохранилищах Волжского каскада: Дис. ... докт. геогр. наук. М., 2007. 379 с.

Законнов В. В., Иванов Д. В., Законнова А. В., Кочеткова М. Ю., Маланин В. В., Хайдаров А. А. Пространственная и временная трансформация донных отложений в водохранилищах Средней Волги // Водные ресурсы. 2007. Т. 34, № 3. С. 1–9.

Законнов В. В., Законнова А. В. Географическая зональность осадкообразования в системе волжских водохранилищ // Известия РАН. Сер. геогр. 2008. № 2. С. 105–111.

Иванов Д. В., Зиганшин И. И. Характеристика осадконакопления в водоемах Республики Татарстан // Двадцать первое пленарное межвуз. совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Чебоксары, 2006. С. 115–116.

Иванов Д. В., Зиганшин И. И., Осмелкин Е. В. Осадконакопление и заиление озер Средней Волги // Теория и практика восстановления внутренних водоемов: Тез. докл. науч.-практ. конф. СПб., 2007. С. 21.

Иванов Д. В., Зиганшин И. И., Осмелкин Е. В. Оценка скорости осадконакопления в озерах Казани и Приказанья // Георесурсы. 2011а. № 2(38). С. 46–48.

Иванов Д. В., Зиганшин И. И., Осмелкин Е. В., Хасанов Р. Р. Характеристика процессов илонакопления в Собакинской системе озер // Труды КарНЦ РАН. 2016. № 5. С. 53–61. doi: 10.17076/lim330

Иванов Д. В., Шагидуллин Р. Р., Зиганшин И. И., Осмелкин Е. В. Взаимосвязь вещественного состава озерных отложений и антропогенного преобразования природных ландшафтов Республики Татарстан // Экология и промышленность России. 2011б. № 6. С. 35–38.

Иванов Д. В., Шагидуллин Р. Р., Зиганшин И. И., Осмелкин Е. В. Донные отложения Заинского водохранилища // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2011в. Т. 153, кн. 1. С. 190–202.

Инвентаризация гидротехнических сооружений (гидроузлов) в хозяйствах Чувашской Республики. Кн. 1. Чебоксары, 2003. 175 с.

Озера Среднего Поволжья. Л.: Наука, 1976. 236 с.

Осмелкин Е. В., Суин М. В., Подшивалина В. Н. Оценка влияния особенностей водосбора на процессы старения малых карстовых озер // Вода: химия и экология. 2013. № 1. С. 9–14.

Прыткова М. Я. Географические закономерности осадконакопления в малых водохранилищах: Автореф. дис. ... докт. геогр. наук. М., 1982. 42 с.

Физико-географическое районирование Среднего Поволжья / Под ред. А. В. Ступишина. Казань: КГУ, 1964. 197 с.

Поступила в редакцию 17.04.2018

References

Ermolaev O. P. Eroziya v basseinovykh geosistemakh [Erosion in basin geosystems]. Kazan': Unipress, 2002. 264 p.

Fiziko-geograficheskoe raionirovanie Srednego Povolzh'ya [Physico-geographical zoning of the Middle Volga Region]. Kazan: KSU, 1964. 197 p.

Ivanov D. V., Ziganshin I. I. Kharakteristika osadkonakopleniya v vodoemakh Respubliki Tatarstan [Characteristics of sedimentation in water bodies of the Republic of Tatarstan]. *Dvadsat' pervoe plenarnoe mezhevuz. soveshchanie po probleme erozionnykh, ruslovykh i ust'evykh protsessov* [21st plenary interuniv. meeting on the problem of erosion, channel and wellhead processes]. Cheboksary, 2006. P. 115–116.

Ivanov D. V., Ziganshin I. I., Osmelkin E. V. Osadkonakoplenie i zailenie ozer Srednei Volgi [Sedimentation and silting of the lakes of the Middle Volga]. *Teoriya i praktika vosstanovleniya vnutr. vodoemov: Tez. dokl. nauch.-prakt. konf. [Theory and practice of restoration of inland water bodies: Proceed. sci. and practical conf.]*. St. Petersburg, 2007. P. 21.

Ivanov D. V., Ziganshin I. I., Osmelkin E. V. Otsenka skorosti osadkonakopleniya v ozerakh Kazani i Prikazan'ya [Assessment of sedimentation rate in the lakes of Kazan and the Kazan area]. *Georesources*. 2011. No. 2(38). P. 46–48.

Ivanov D. V., Ziganshin I. I., Osmelkin E. V., Khasanov R. R. Kharakteristika protsessov ilonakopleniya v Sobakinskoj sisteme ozer [Characteristics of the processes of silt accumulation in the Sobakinsky lakes system]. *Tr. KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2016. No. 5. P. 53–61. doi: 10.17076/lim330

Ivanov D. V., Shagidullin R. R., Ziganshin I. I., Osmelkin E. V. Vzaimosvyaz' veshchestvennogo sostava ozer nykh otlozhenii i antropogennogo preobrazovaniya prirodnykh landshaftov Respubliki Tatarstan [Interrelation of the material composition of lake sediments and anthropogenic transformation of the natural landscapes in the Republic of Tatarstan]. *Ekol. i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia]. 2011a. No. 6. P. 35–38.

Ivanov D. V., Shagidullin R. R., Ziganshin I. I., Osmelkin E. V. Donnye otlozheniya Zainskogo vodo-

khranilishcha [Bottom sediments of the Zainsky Reservoir]. *Uch. zapiski Kazanskogo univ. Ser. Estestv. nauki* [Proceed. Kazan Univ. Nat. Sci. Series]. 2011b. Vol. 153, book 1. P. 190–202.

Inventarizatsiya gidrotekhnicheskikh sooruzhenii (gidrouzlov) v khozyaistvakh Chuvashskoi Respubliki [Inventory of hydraulic structures (hydroschemes) in the farms of the Chuvash Republic]. Book 1. Cheboksary, 2003. 175 p.

Osmelkin E. V., Suin M. V., Podshivalina V. N. Otsenka vliyaniya osobennosti vodobora na protsessy stareniya malykh karstovykh ozer [Evaluation of the influence of the catchment features on the aging processes of small karst lakes]. *Water: Chemistry and Ecology*. 2013. No. 1. P. 9–14.

Ozera Srednego Povolzh'ya [Lakes of the Middle Volga area]. Leningrad: Nauka, 1976. 236 p.

Prytkova M. Ya. Geograficheskie zakonomernosti osadkonakopleniya v malykh vodokhranilishchakh [Geographical patterns of sediment accumulation in small reservoirs]: Summary DSc (Dr. of Geogr.) thesis. Moscow, 1982. 42 p.

Zaitsev G. N. Matematicheskaya statistika v eksperimental'noi botanike [Mathematical statistics in experimental botany]. Moscow: Nauka, 1984. 425 p.

Zakonov V. V. Osadkoobrazovanie v vodokhranilishchakh Volzhskogo kaskada [The bottom sediments formation in the Volga cascade reservoirs]: DSc (Dr. of Geogr.) thesis. Moscow, 2007. 379 p.

Zakonov V. V., Ivanov D. V., Zakonova A. V., Kochetkova M. Yu., Malanin V. V., Khaidarov A. A. Prostranstvennaya i vremennaya transformatsiya donnykh otlozhenii v vodokhranilishchakh Srednei Volgi [Spatial and temporal transformations of bottom sediments in the Middle Volga Reservoirs]. *Vodn. resursy* [Water Resources]. 2007. Vol. 34, no. 3. P. 1–9.

Zakonov V. V., Zakonova A. V. Geograficheskaya zonal'nost' osadkoobrazovaniya v sisteme volzhskikh vodokhranilishch [Geographical zonality of sediment formation in the system of the Volga Reservoirs]. *Izv. RAN. Ser. Geogr.* [Bull. RAS. Geographical Ser.]. 2008. No. 2. P. 105–111.

Received April 17, 2018

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Иванов Дмитрий Владимирович

заместитель директора по научной работе, к. б. н.
Институт проблем экологии и недропользования
АН Республики Татарстан
ул. Даурская, 28, Казань, Республика Татарстан, Россия,
420087
эл. почта: water-rf@mail.ru
тел.: (843) 2759573

Осмелкин Евгений Витальевич

директор
Государственный природный заповедник «Присурский»
пос. Лесной, 9, Чебоксары,
Чувашская Республика, Россия, 428034
эл. почта: pisurskij@mail.ru
тел.: (8352) 414849

CONTRIBUTORS:

Ivanov, Dmitry

Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use,
Tatarstan Academy of Sciences
28 Daur'skaya St., 420087 Kazan, Republic of Tatarstan, Russia
e-mail: water-rf@mail.ru
tel.: (843) 2759573

Osmelkin, Evgeny

Prisursky Strict Nature Reserve
9 Poselok Lesnoy, 428034 Cheboksary, Chuvash Republic,
Russia
e-mail: pisurskij@mail.ru
tel.: (8352) 414849

Зиганшин Ирек Ильгизарович

старший научный сотрудник, к. г. н., доцент
Институт проблем экологии и недропользования
АН Республики Татарстан
ул. Даурская, 28, Казань, Республика Татарстан, Россия,
420087
эл. почта: Irek.Ziganshin@tatar.ru
тел.: (843) 2759573

Ziganshin, Irek

Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use,
Tatarstan Academy of Sciences
28 Daurkaya St., 420087 Kazan, Republic of Tatarstan, Russia
e-mail: Irek.Ziganshin@tatar.ru
tel.: (843) 2759573