

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ВОДОСБОРА на ПРОЦЕССЫ СТАРЕНИЯ малых КАРСТОВЫХ ОЗЕР

По результатам исследования 9 малых озер на территории Среднего Поволжья показано, что на процессы старения карстовых водоемов в регионе влияют климатические, эрозионные факторы, а также особенности ландшафта. Обмеление, развитие береговой линии и литорали происходят вследствие поступления эрозионного материала преимущественно с талыми водами. Выявлено значительное положительное влияние наличия стабильных элементов в пределах ландшафта на сохранение водоемами черт молодости.



Введение

Озера, как и любые другие природные экосистемы, претерпевают направленные необратимые изменения, приводящие к их трансформации и переходу в качественно иное состояние. Таким образом, в своем индивидуальном развитии они проходят от стадии молодости через стадию зрелости к угасанию. Однако механизм старения и факторы, играющие ведущую роль в этом процессе, пока остаются невыясненными. Тем не менее, подобные знания крайне необходимы для принятия своевременных обоснованных решений по предотвращению преждевременной деградации водных объектов.

Карстовые озера в силу особенностей своего происхождения характеризуются, как правило, выраженной конусовидной формой котловины. Это позволяет использовать их

Е.В. Осмелкин*,
директор ФГБУ
Государственный
заповедник
«Присурский»

М.В. Суин,
аспирант, ГБУ
Институт про-
блем экологии
и недропользо-
вания Академии
наук Республики
Татарстан

**В.Н. Подши-
валина**, кандидат
биологических
наук, ведущий
научный со-
трудник ФГБУ
Государственный
заповедник
«Присурский»

морфометрические данные для определения эволюционного возраста, что и стало основой для проведения настоящей работы.

Как известно, озера являются важным элементом географического ландшафта и, в связи с этим, подвержены воздействию условий на водосборе. Старение водоемов наблюдается преимущественно в изменениях литорали и накоплении донных отложений [1]. Эти явления часто обусловлены различными проявлениями эрозионных процессов на территории водосбора, которые способствуют привнесу биогенных элементов и заиливанию [2]. Причем поступление биогенных веществ является доминирующим фактором [3]. Эффективным подходом для восстановления озер считается контроль источников поступления биогенных веществ [3]. Поэтому в качестве характеристик водосбора, определяющих старение озер, рассматривались природные и антропогенные факторы бассейновой эрозии.

*Адрес для корреспонденции: vpodsh@newmail.ru

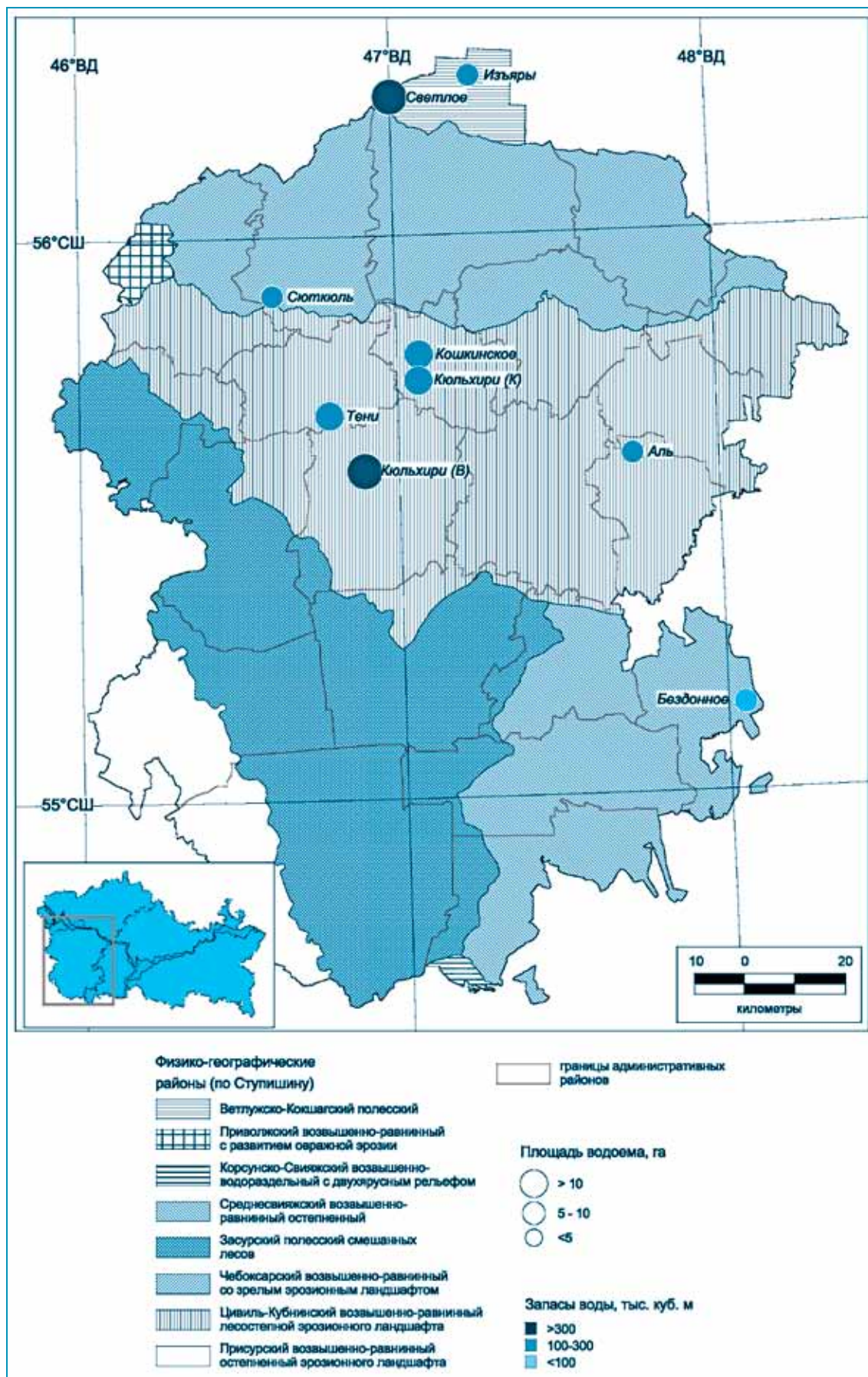


Рис. 1. Карта-схема расположения исследованных озер на территории Среднего Поволжья.

Материалы и методы исследования

На территории Среднего Поволжья в пределах Чувашской Республики было изучено 9 малых озер карстового происхождения, расположенных в Заволжской низменности (Ветлужско-Кокшагский полесский район) и на Приволжской возвышенности (Цивиль-Кубнинский возвышенно-равнинный лесостепной район эрозионного ландшафта, Чебоксарский возвышенно-равнинный со зрелым эрозионным ландшафтом [4] (рис. 1)). Материалами для работы послужили данные полевых исследований 2006-2011 гг., проведенных на озерах Аль, Бездонное, Изъяры, Кошкинское, Кюльхири (Вурнарское), Кюльхири (Красноармейское), Светлое, Сюткюль, Тени.

Для определения морфометрических параметров водоемов была проведена их батиметрическая съемка. Глубины определялись при помощи эхолота либо веревочным лотом. Координаты точек промеров глубин фиксировались GPS приемником. На основе материалов полевых работ произведена обработка данных с применением ГИС Mapinfo 9.5.

Для подсчета некоторых морфометрических показателей и построения батиметрических планов водоемов точки промеров глубин выносились на электронную карту, на которой в качестве растровой подложки использовались космические снимки с пространственным разрешением менее 10 м/пиксель.

На основе полученных таким образом морфометрических показателей были вычислены интегральные индексы состояния котловины: относительная глубина [5], коэффициент «открытости» [6], показатель емкости (формы котловины) [7], развитие береговой линии [8], уклон дна [9]. Определена также примерная доля литорали в площади акватории озера. В исследованных объектах литоральная зона тянется в среднем до глубины 1,5 м. Этот уровень и был принят при расчетах.

В качестве параметров окружающей среды были выбраны следующие климатические показатели: среднемноголетнее количество осадков [10, 11], запас воды в снеге [11, 12], модуль половодного стока, весенний сток 5 % обеспеченности с зяби [12], скорость ветра в июле [10]. Рассматривались также характеристики эрозионности территории

Ключевые слова: малые озера, старение озер, состояние водосбора, качество вод

(интенсивность смыва почв [11], густота овражной сети [13], густота долинного расчленения, балочного расчленения, густота гидрографической сети, интенсивность эрозии почв, интенсивность бассейновой эрозии, средняя длина склонов долинно-балочных водосборов, эрозионно-геоморфологический коэффициент [12]. В качестве общих показателей состояния ландшафта учитывались лесистость, распаханность [12] и коэффициент экологической стабильности ландшафта [11].

Влияние условий на водосборе на отдельные характеристики водоемов было оценено с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена [14]. Для вычислений использовался пакет программ STATISTICA 6.0.

Результаты и их обсуждение

В исследуемом регионе основные морфометрические характеристики озер варьируют в значительной степени. Это можно проследить по площади ($27,2-153,6 \cdot 103 \text{ м}^2$), объему ($69,6-485,5 \cdot 103 \text{ м}^3$) и средней глубине ($2,0-6,0 \text{ м}$). Большинство озер являются глубоководными (*максимальные глубины составили 12,4-18,2 м*). К среднеглубинным принадлежат озера Бездонное, Изъяры, Тени с максимальными глубинами 5,1-9,8 м.

Современная батиметрическая съемка показала значительное расхождение с данными предыдущих исследований [15, 16]. Озера Бездонное, Аль, Тени, Сюткюль занимают большую площадь и характеризуются большей глубоководностью, чем было заявлено ранее. Вероятно, это обусловлено более подробно проведенными измерениями и использованием современных методов в настоящих исследованиях.

Показатели относительного эволюционного возраста свидетельствуют об интенсивно идущих процессах старения во всех озерах. Это отразилось в изменении формы котловины, уменьшении глубоководности и увеличении зоны литорали.

Показатель емкости котловины ($0,14-0,25$) позволяет определить ее конусообразную форму у озер Кюльхири (Красноармейское), Кошкинское, Сюткюль, Кюльхири (Вурнарское), Тени. Это состояние характерно для относительно молодых



карстовых водоемов. Остальные исследованные объекты имеют напоминающую параболоид форму поверхности дна (показатель емкости составил 0,43-0,50). Данное обстоятельство может свидетельствовать об их эволюционной зрелости. Таким образом, среди рассматриваемых озер имеются объекты с различной степенью развитости черт старения котловины. Расчетный показатель уклона дна свидетельствует о большей крутизне склонов котловины в озерах Сюткюль и Аль.

Относительная глубина показывает степень глубоководности озера для площади его поверхности. Относительная глубина озер Изъяры, Бездонное, Тени (2,7-2,8 %) приближена к уровню мелководных озер [5]. Указанные значения данного показателя могут свидетельствовать о приближении озер к завершающей стадии развития и приобретении чашеобразной-блюдцеобразной формы котловины [17]. Относительно более глубоководными являются озера Сюткюль, Аль и Кошкинское.

Как известно, старение водоема начинается с побережья. Поэтому характеристика литорали необходима для диагностики возрастных процессов. По уровню развития береговой линии можно проследить, что развитость литорали в озерах Кюльхири (Вурнарское), Изъяры и Сюткюль наибольшая (*показатель развития береговой линии составил 1,14-1,18*). Доля площади озера, имеющей глубины менее 1,5 м, значительно варьирует в зависимости от водоема. Подобное мелководье составляет значительную часть акватории оз. Кюльхири (Красноармейское) (50 %). В наименьшей степени литораль выражена в озерах Светлое (7,8 %) и Тени (12,7 %).

Таким образом, во всех исследованных водоемах обнаружены черты старения и трансформации котловины. Однако в каждом отдельном озере ведущую роль в этом играют свои признаки. Это позволяет предположить влияние особенностей водосбора на характер старения. Для уточнения наличия подобных взаимосвязей был произведен корреляционный анализ.

Количество осадков, выпадающих в течение года, негативно влияет на емкость водоема ($r=-0,71$, $p<0,03$). В районах, где выпадает больше осадков, отмечены озера с котловиной, которая напоминает характерную для

относительно молодых карстовых озер форму конуса.

Средняя глубина озер больше на территории, где ниже весенний поверхностный сток ($r=-0,69$, $p<0,03$). Облесенность прилегающего ландшафта, а также наличие других элементов, обеспечивающих его стабильность, положительно сказываются на средней глубине ($r=0,85$, $p<0,002$ и $r=0,82$, $p<0,004$, соответственно). Лесной растительный покров в целом играет положительную роль в развитии карста [18]. Это может быть следствием того, что лес выступает как важный гидрологический фактор и содействует таким образом карстообразованию.

Степень глубоководности озер напрямую зависит от густоты балочного расчленения ($r=0,66$, $p<0,04$). Как известно [12], балки являются древними эрозионными формами, способствующими концентрации стока. За счет них происходит его перераспределение.

Количество осадков, выпадающих за год, отрицательно сказывается на глубоководности ($r=-0,66$, $p<0,04$). Вероятно, это обусловлено привнесом вещества в водоем вместе с поверхностным стоком и, как следствие, заиливанием. Одновременно в районах с развитой речной сетью отмечены более глубоководные озера ($r=0,66$, $p<0,04$). Вероятно, густота речной сети способствует разгрузке поверхностного стока с водосборов именно в реки, которым принадлежит ведущая роль в переносе и аккумуляции продуктов эрозии в тех местностях, где они широко представлены. В остальных это аллохтонное вещество попадает в озера.

Развитость литорали и побережья определяется гидро-климатическими и эрозионными факторами одновременно. Модуль половодного стока, косвенно отражающий роль талого стока в бассейновой эрозии [12], в значительной степени влияет на уровень развития береговой линии ($r=0,72$, $p<0,02$). Зона мелководья (до глубины 1,5 м) приобретает большее значение в водоемах на территориях с большим проявлением интенсивности бассейновой эрозии ($r=0,66$, $p<0,04$).

В целом, из климатических факторов озера испытывают значимое воздействие со стороны, в первую очередь, гидро-климатических, что согласуется с данными предыду-

щих исследований карстовых водоемов [18]. Об этом свидетельствует умеренная корреляционная зависимость между коэффициентом открытости и среднемноголетним количеством осадков ($r=0,66$, $p<0,04$), а также отсутствие значимой связи с другими климатическими факторами. Коэффициент открытости показывает степень воздействия климатических факторов на водоем в целом [6].

Озера с самыми объемными котловинами расположены на территории с наиболее значительным количеством выпадающих осадков ($r=0,72$, $p<0,02$). Максимальные глубины выше в районе с самыми высокими показателями половодного стока ($r=0,75$, $p<0,02$). Это может косвенно подтверждать установленный ранее факт, что по характеру питания озера исследованного региона относятся к смешанному типу [19]. В их питании сочетается поступление за счет таяния снега, с атмосферными осадками, а также за счет грунтовых вод.

Заключение

Таким образом, на процессы старения карстовых водоемов влияют климатические и эрозионные факторы, а также особенности ландшафта. Исследуемый регион относится к области тало-ливневого смыва, где основной вклад в бассейновую эрозию вносит талый сток [12]. Анализ показал их противоположное влияние на глубоководность водоемов. Можно предположить, что это обусловлено поступлением эрозионного материала преимущественно с талыми водами. Половодный сток также способствует развитию береговой линии, вероятно за счет постепенного зарастания мелеющей из-за аллохтонного вещества литорали. Роль эрозионных процессов на водосборе прослежена как в уменьшении глубоководности, так и в развитии и укреплении литорали. Выявлено значительное положительное влияние наличия стабильных элементов в пределах ландшафта на сохранение водоемами черт молодости.

Литература

1. Rogozin A.G. Об измерении скорости сукцессии водных экосистем // Известия Челябинского научного центра. 2001. Вып. 4 (13). С. 73–76.
2. Экология зарастающего озера и проблема его восстановления. СПб.: Наука, 1999. 222 с.

3. Хендерсон-Селлерс Б. Умирающие озера. Причины и контроль антропогенного эвтрофирования / Б. Хендерсон-Селлерс, Х.Р. Маркленд. Л.: Гидрометеоздат, 1990. 279 с.
4. Ступишин А.В. Физико-географическое районирование Среднего Поволжья. Казань, 1964. 197 с.
5. Wetzel R.G. Limnology. Lake and River Ecosystems. San Diego: Academic Press, 2001. 1006 p.
6. Сорокин И.Н. Гидрология и морфометрия малых озер Кольского полуострова // Озера различных ландшафтов Кольского полуострова: В 2 ч. Л.: Наука, 1974. Ч. 1. С. 88-110.
7. Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 395 с.
8. Муравейский С.Д. Очерки по теории и методам морфометрии озер // Реки и озера. М.: Географгиз, 1960. С. 91-126.
9. Богословский Б.Б. Озероведение. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1960. 335 с.
10. Климат Чувашской Республики и его возможные изменения в условиях глобального потепления. Универсальные и специализированные характеристики. Обнинск – Н. Новгород – Чебоксары, 2006. 156 с.
11. Атлас земель сельскохозяйственного назначения Чувашской Республики. Чебоксары, 2007. 184 с.
12. Ермолаев О.П. Эрозия в бассейновых геосистемах. Казань: Унипресс, 2002. 264 с.
13. Мозжерин В.И. Деятельность человека и эрозионно-русловые системы Среднего Поволжья / В.И. Мозжерин, С.Г. Курбанова. Казань: Арт-Дизайн, 2004. 128 с.
14. Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1984. 424 с.
15. Кадастр озер Чувашской АССР. Казань, 1968. 172 с.
16. Семенова И.И. Озера лесостепной зоны (в пределах Чувашской АССР) // Озера Среднего Поволжья. Л.: Наука, 1976. С. 158-191.
17. Верецагин Г.Ю. Методы морфометрической характеристики озер // Труды Олонейской научной экспедиции. 1930. Вып. 1, ч. II. 106 с.
18. Ступишин А.В. Равнинный карст и его развитие на примере Среднего Поволжья. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1967. 291 с.
19. Биоразнообразие и типология карстовых озер Среднего Поволжья. Казань: Казан. гос. ун-т, 2009. 222 с.



E.V. Osmelkin, M.V. Suin, V.N. Podshivalina

ESTIMATION OF INFLUENCE OF WATER COLLECTION PECULIARITIES ON AGING OF SMALL KARST LAKES

According to research data on nine small lakes within the territory of the central Volga Region climatic, erosion factors and features of the landscape influence on aging processes. It is shown that erosion materials transported by melt water cause shallowing, devaporation of shore line and littoral. The positive effect of presence of stabile landscape elements on reservoir youth was detected.

Key words: small lakes, lakes aging, watershed state, water quality.