

Список литературы

- Барабаш-Никифоров И.И. Добавления к фауне Темниковского лесного массива (Мордовской АССР // Бюллетень Московского общества испытателей природы, отд. биологический Т. LXIII. Вып. 4. 1958. С. 21-24.
- Касаткин С.П. Амфибии и рептилии Мордовского заповедника (эколого-фаунистический очерк) // Тр. Морд. гос. природного заповедника им. П.Г. Смидовича. Вып. 7. М.: Рекламно-издательский центр ФГУП ВНИИИМ, 2006. С. 24-35.
- Позвоночные животные Мордовского заповедника (аннотированный список видов). М.: Изд. Комиссии РАН по сохранению биологического разнообразия, 2012. 64 с.
- Птушенко Е.С. Некоторые данные по амфибиям и рептилиям Мордовского заповедника // Фауна Мордовского государственного заповедника. М.: Изд-во Комитета по заповедникам при Президиуме ВЦИК, 1938. С. 107-111.
- Ручин А.Б. Амфибии и рептилии Мордовии и способы их изучения. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2010. 86 с.
- Ручин А.Б. Травяная лягушка - редкий вид! // Мордовский заповедник. №2. 2012. С. 24-27.
- Ручин А.Б., Рыжов М.К. Амфибии и рептилии Мордовии: видовое разнообразие, распространение, численность. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2006. 160 с.
- Терешкин И.С., Скокова Н.Н., Шалыбков А.М. Мордовский заповедник // Заповедники СССР. Заповедники Европейской части РСФСР. М.: Мысль, 1989. Ч. 2. С. 76-96.
- Шарапова Э.Э., Глыбина М.А. Амфибии окрестностей кордона Инорский Мордовского заповедника // Труды Мордовского государственного природного заповедника им. П. Г. Смидовича. Вып. IX. Саранск; Пушта, 2011. С. 293-295.

МОРФОМЕТРИЯ МУХТОЛОВСКИХ ОЗЁР. ОПЫТ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ ОЗЁРНЫХ КОТЛОВИН В ГИС

О.Н. Артаев, Н.Г. Баянов

Мордовский государственный заповедник имени П.Г. Смидовича,

e-mail: artaev@gmail.com, bayanovng@mail.ru

В результате промеров глубин эхолотом с GPS навигатором, созданы модели котловин озёр, расположенных в окрестностях пос. Мухтолово Ардатовского района Нижегородской области (Большое, Нуксенское, Чарское, Комсомольское и Черное). Определены морфометрические параметры озёр, построены батиграфические и объёмные кривые. Все изученные озёра имеют карстовое провальное происхождение и состоят из одной (оз. Чёрное) или множества затопленных водой карстовых воронок.

Ключевые слова: Мухтоловские озера, морфометрия котловин, модели котловин, батиметрия, ГИС.

Мухтоловские озёра расположены в окрестностях пос. Мухтолово Ардатовского района Нижегородской области (рис. 1) на водоразделе рек Тёша и Серёжа в пределах Арзамасской возвышенности, её западной части, граничащей с Окско-Навашинской низиной. Район характеризуется распространением карстующихся известняков и доломитов казанского яруса, а местами и более древних гипсов, слагающих кровлю сакмарского яруса нижней перми (Фридман, 1999). Здесь широко представлены разнообразные элементы карстового рельефа, в частности, карстовые озёра и расположена выделенная Б.И. Фридманом (1999) широкая карстовая долина системы рек Нукс - Чара в пределах которой лежит единая карстовая долиновидная Нук-

сенская котловина длиной 4.5 и шириной до 2 км. Образуют её котловины трёх озёр: Нуксенское, Большое и Чарское (рис. 1).

Цель работы - получение морфометрических характеристик и создание цифровой модели котловин этих озёр, а также оз. Комсомольского, расположенного в 8 км на северо-запад от р.п. Мухтолово и оз. Чёрного на северной окраине пос. Мухтолово. Краткое описание и гидрохимическая характеристика озёр были приведены нами ранее (Баянов и др., 2014).

Как отмечает М.А. Науменко (2000) современное изучение разнообразных ландшафтов и территорий требует цифрового представления различных форм рельефа с всё большей точностью. Малые озёра представляют собой наиболее многочисленные и, как правило, не известные в деталях формы отрицательного рельефа земной поверхности, заполненные водой. В то же время морфометрические характеристики, форма котловины дают информацию о генезисе озера, его подводном рельефе и определяют пространственную структуру гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических параметров (Барышников, 2010; Науменко, 1995; 2000; Симонов, 1998).

Работы происходили в 3 этапа.

Первый, полевой этап - заключался в получении данных (точек координат и их глубин) на самом водоёме. Использовался эхолот (точность определения глубины 0.1 м) со встроенным GPS навигатором «Lowrance Mark 4» и резиновая надувная вёсельная лодка. Для получения более достоверной картины распределения глубин точки промеров распределялись по акватории озера как можно более равномерно (рис. 2). Расстояние между точками промеров глубин определялось исходя из размеров самих озёр, технических характеристик используемого эхолота, а также выделенного на исследования времени (в данном случае каждому озеру был посвящён один рабочий день). В случае обнаружения резкого изменения глубин частота промеров возрастала. В итоге расстояние между точками промеров находилось в диапазоне 15-30 м.

Количество промеров составило: оз. Большое - 490, оз. Нуксенское - 315, оз. Чарское - 270, оз. Комсомольское - 176, оз. Чёрное - 72 промера. Степень отбраковки точек, не нужных для построения модели котловины, в нашем случае оказалась очень мала. Отбрасывались лишь точки с очевидно неправильными глубинами, полученными во время, когда эхолот не корректно определял глубину.

При прорисовке береговой линии по космоснимку количество точек зависит от детализации космоснимка, размера водоёма, извилистости береговой линии и требуемой подробности её прорисовки. В нашем распоряжении были космоснимки с детализацией 0.6 м/пикс. Расстояние между точками береговой линии составило от 2 до 6 м.

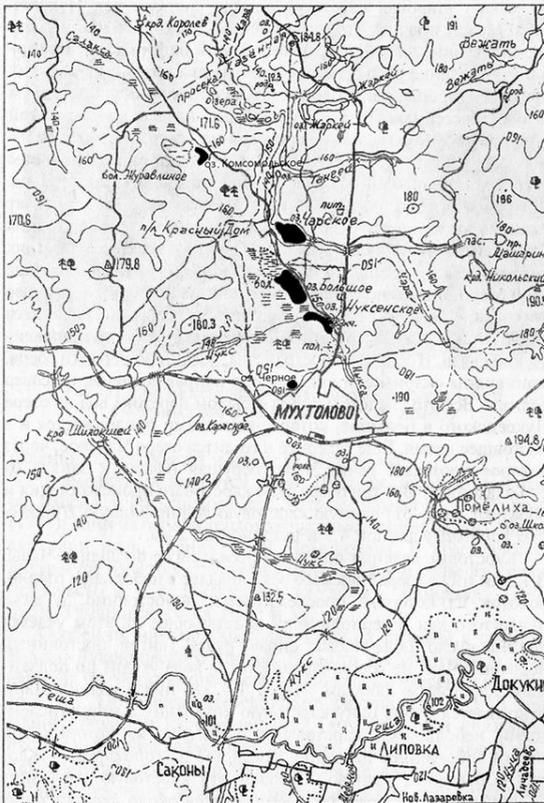


Рис. 1. Схема Нуксенско-Чарской озёрно-речной карстовой системы (по: Фридман, 1999)

Мухтоловских озёр (табл.). Наибольшим по площади, объёму воды и ряду других показателей оказалось озеро Большое. В нём сосредоточено 2 млн. 254.3 тыс. кубометров воды, площадь его составляет 440.1 тыс. квадратных метров или 44.0 гектара. Максимальная глубина - 20.6 м, средняя - 5.1 м, т.е. это озеро относительно глубоководное. Однако по длине береговой линии (4.5 км) и степени изрезанности берегов (1.94) оз. Большое уступает другому озеру рассматриваемой озёрной системы - оз. Чарскому. Длина береговой линии Чарского озера составляет 4.8 км при коэффициенте изрезанности 2.6. Но самой сложной формой береговой линии выделяется оз. Нуксенское, где показатель её изрезанности 3.28. Оз. Нуксенское и второе по максимальной глубине среди Мухтоловских озёр (15.3 м). Озёра Чарское и Комсомольское мелководные: их средние глубины 2.1-2.5 м соответственно. Морфометрические параметры оз. Чарского из-за нестабильного уровня воды непосто-

Второй этап заключался в построении модели котловины, третий - в визуализации полученной поверхности. На этих этапах использовался программный пакет ArcGIS 10.2. Подробно механизм построения модели котловины и её визуализации описан нами ранее (Артаев, 2014). Площади акваторий озёр, а также объёмы слоёв между определёнными глубинами рассчитывались также в ArcGIS 10.2 при помощи инструмента *Объём для поверхности*. Определение морфометрических показателей озёр проводилось по Б.Б. Богословскому (1960).

В результате выполненных работ удалось определить основные морфометрические характеристики

яжны. В многоводные годы глубина самой глубокой карстовой воронки Чарского озера около 10 м. От весны к осени происходит заметное понижение уровня, глубины в озере уменьшаются, а расположенная юго-восточнее глубокой воронки отмель (рис. 5) превращается в увеличивающийся по размерам остров.

Мухтоловские озёра имеют карстовое происхождение и образованы путём заполнения водой и соединения в единое целое воронок многочисленных карстовых провалов. Так на оз. Нуксенском нами выявлено 18 воронок, наиболее глубокие (свыше 12 м) сосредоточены в центральной и северо-западной частях озера. Примерно тем же количеством воронок характеризуется Большое озеро; большинство их расположено вдоль коренного восточного берега и восточнее большого острова. Примыкающая к болоту западная часть Большого озера характеризуется отсутствием карстовых воронок.

Наличие островов на карстовых озёрах - явление закономерное. Наиболее крупным, площадью 26734 м² является остров на Большом озере. Обширное известное местным жителям мелководье является затопленным продолжением острова. Заметим, что мелководье имеет место по всему периметру острова. В сочетании с торчащими из воды пеньками деревьев это указывает на бывшие некогда большие размеры острова на озере Большом. Площадь малого острова у юго-восточного берега озера - 3294 м².

На оз. Нуксенском два малых острова (с площадями 971 и 658 м² соот-

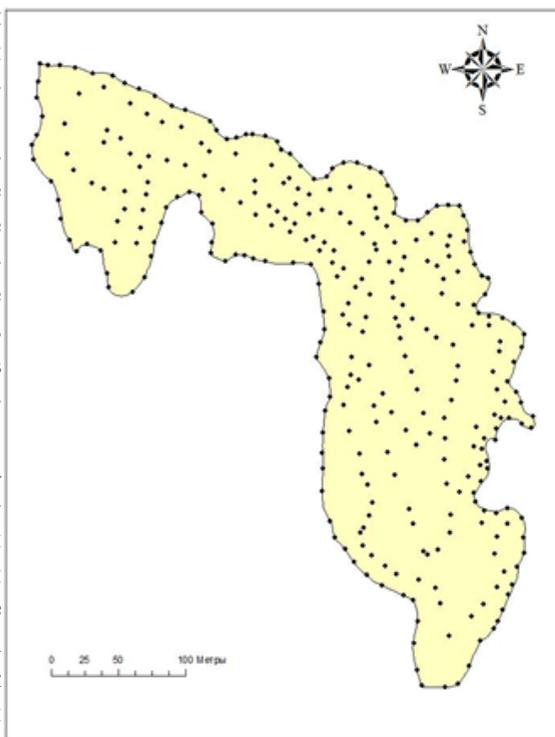


Рис. 2. Распределение точек промеров по акватории оз. Комсомольского. Береговая линия построена на основе данных космоснимков, остальные точки получены путём непосредственных замеров на месте

Табл. Морфометрические показатели Мухтоловских озёр

Озеро	Комсомоль- ское	Чарское	Большое	Нуксен- ское	Чёрное
$L_{оз.}, м$	580	1180	1320	1020	100
$B_{max.}, м$	150	550	570	214	80
$B_{med.}, м$	105	236	334	120	63
$L_{бер.}, м$	1670	4870	4555	4060	300
КРБЛ	1.92	2.6	1.94	3.28	1.07
$S_{оз.}, м^2$	60290	277650	431350	118290	5795
$S_{дна}, м^2$	60660	278550	437074	122260	6255
$V, м^3$	1274200	695300	2195600	526290	28950
$D_{med.}, м$	2.1	2.5	5.1	4.3	4.6
$D_{max.}, м$	6.1	9.8	20.6	15.3	15.1
$\alpha, ^\circ$	5.7	4	7.4	13.5	20.3

Примечание:

- $L_{оз.}$ - длина озера, м
- $L_{бер.}$ - длина озера, м
- $B_{max.}$ - максимальная ширина озера, м
- $B_{med.}$ - средняя ширина озера, м
- КРБЛ - коэффициент развития береговой линии
- $S_{оз.}$ - площадь зеркала озера, $м^2$
- $S_{дна}$ - площадь поверхности дна озера, $м^2$
- V - объём озера, $м^3$
- $D_{max.}$ - максимальная глубина озера, м
- $D_{med.}$ - средняя глубина озера, м
- α - средний угол наклона дна, градусы

ветственно) и один крупный, площадью 6415 $м^2$. Имеются и дрейфующие по водному зеркалу плавающие островки по несколько десятков квадратных метров каждый. Показатель островности Большого озера составляет 6.5%, таковой оз. Нуксенского - 1.36%. На Чарском озере остров в центральной части появляется лишь при пониженном уровне воды и площадь его непостоянна.

Как видно из приведённых в таблице данных, наибольшей средней крутизной берегового склона (около 20.3°) характеризуется оз. Чёрное, котловина которого довольно молодая (заполнившийся водой провал произошёл в первое десятилетие XX века) и образована одной единственной воронкой. Довольно высок средний угол наклона дна и у оз. Нуксенского (13.5°). У остальных озёр он составляет 4-7°.

В сравнении с Большим и Нуксенским озёрами меньше (13-15) воронок образует оз. Чарское (рис. 6). И глубины этих воронок много меньше, чем на

вышеназванных озёрах. Чаще всего они составляют 3-4 м. Лишь в северной и северо-западной оконечностях озера мы обнаруживаем несколько воронок чуть глубже 6 метров. В связи с непостоянством уровня воды на оз. Чарском некоторые его участки отшнуровываются. А в отдельные годы, как уже ука-

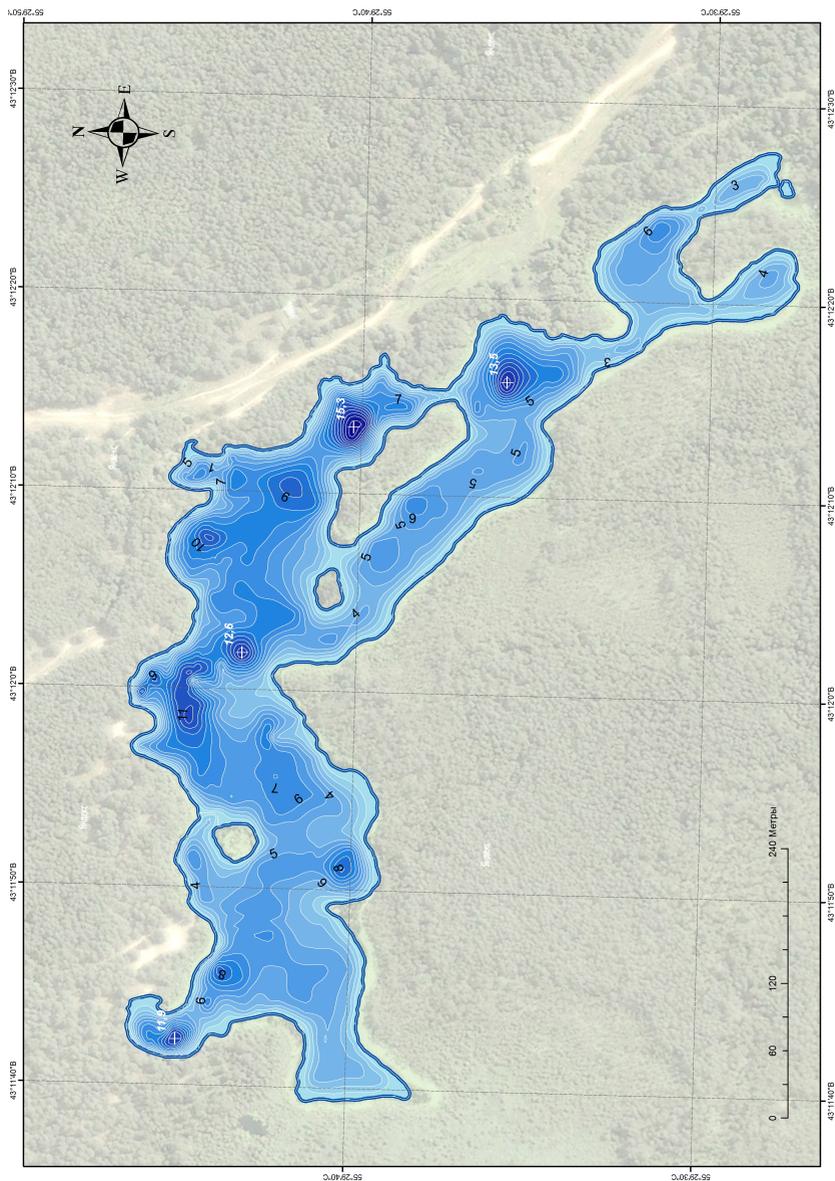


Рис. 3. Озеро Нухенское

зывалось ранее (Баянов и др., 2014) вода полностью уходит из озера. Как правило, это происходит в зимний период.

Более простую, чем вышеописанные озёра, двулопастную форму котловины имеет оз. Комсомольское (рис. 6). Наибольшие глубины в нём сосредоточены в центральной части, где хорошо выражены две впадины (с глубинами, превышающими 5 м), одна из которых довольно крупная. Впадины расположены с разных сторон от мыса - места спуска к воде отдыхающих. В крупной впадине при более детальном рассмотрении прослеживаются три отдельных воронки глубинами свыше 6 м каждая. Обширная северо-западная лопасть озера мелководна и заросла высшей водной растительностью.

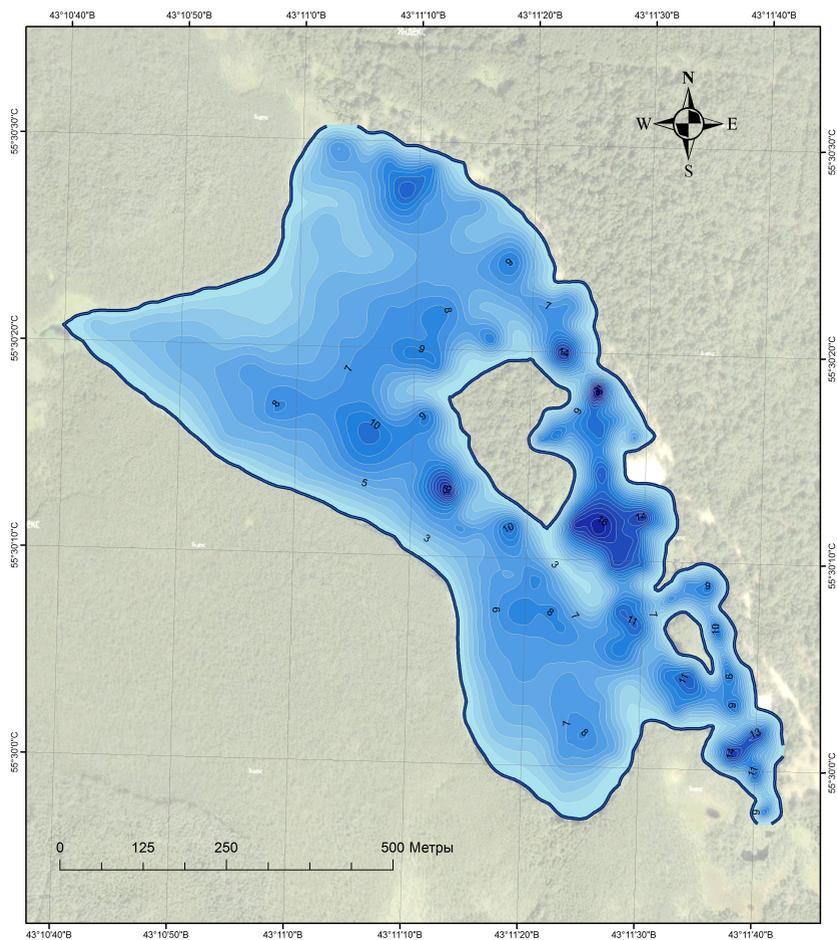


Рис. 4. Озеро Большое

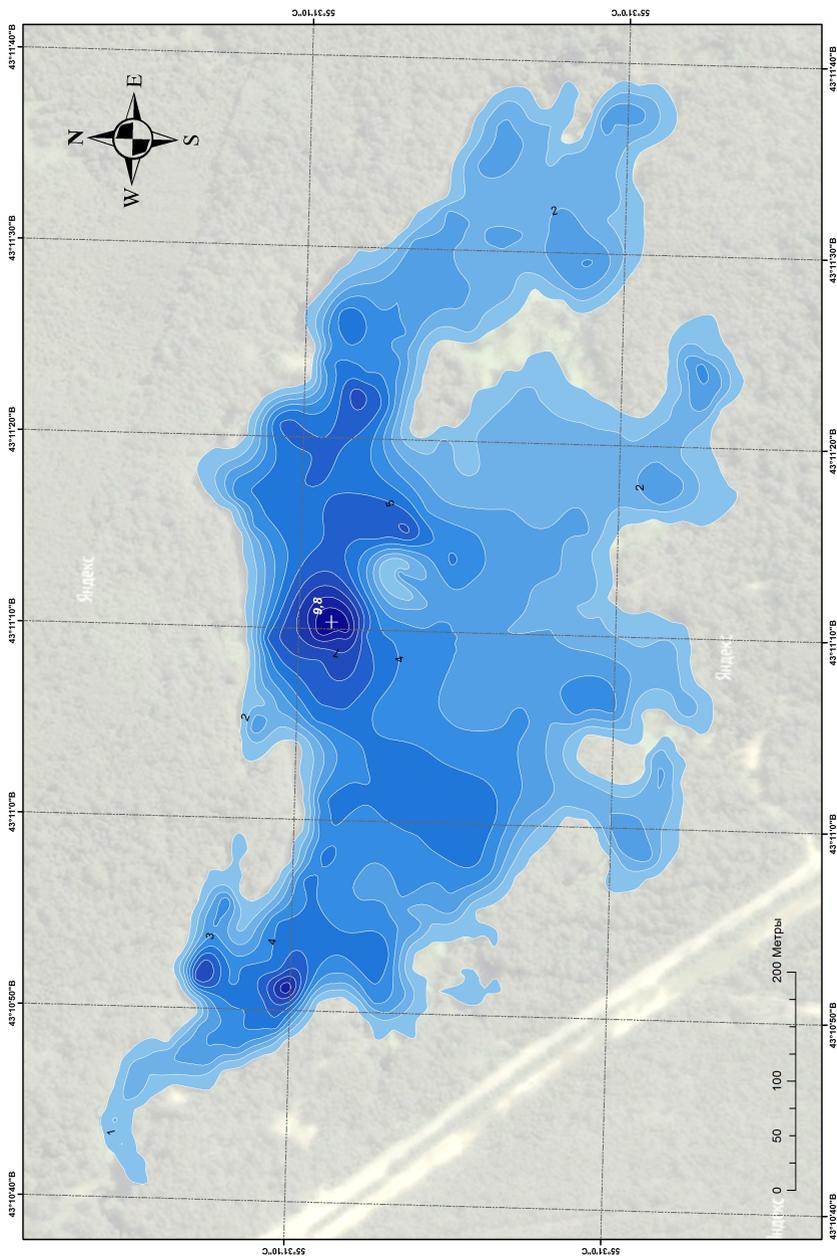


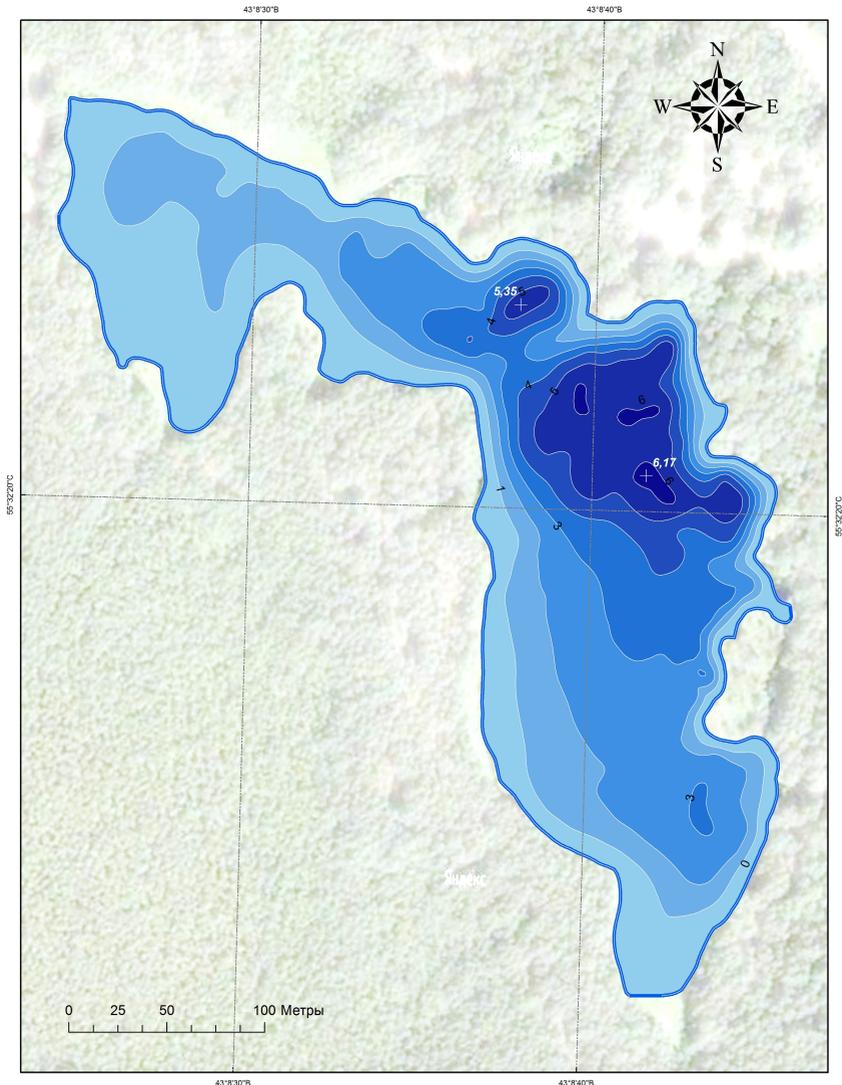
Рис. 5. Озеро Шарок

Наиболее простую форму котловины имеет малое по площади (0.6 га), с высоким крутым южным берегом оз. Чёрное¹. Глубина его достигает 15.1 м. Озеру характерен крайне низкий коэффициент изрезанности береговой линии - около 1.1.

На основании полученных данных построены батиграфические и

1 Произведено уточнение формы котловины оз. Чёрного. Ранее опубликованная карта этого озера (Баянов и др., 2014) основана на менее точных промерах.

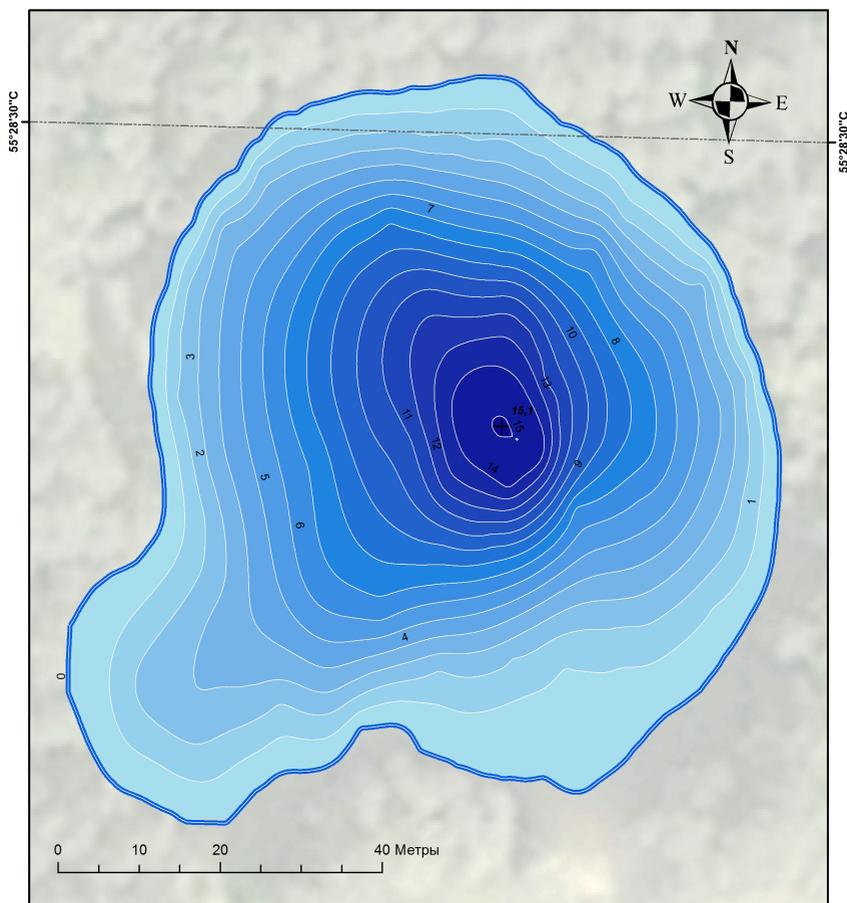
Рис. 6. Озеро Комсомольское



объёмные кривые озёр (рис. 8) двух типов. Кривые первого типа дают возможность определить площади озёр при различных уровнях уреза воды и позволяют увидеть зависимость между уровнем воды в озере и объём водной массы. Кривые второго типа - кривые распределения площадей и объёмов воды по глубинам (рис. 9) демонстрируют преобладающие глубины на том или ином озере.

Батиграфические и объёмные кривые первого типа, на всех озёрах довольно однотипны. Более крутой наклон кривой графика оз. Чёрного указывает на заметно более резкий уклон наклона дна. Имеет место незначительное отклонение от прямой зависимости S (или V) от глубины в диапазоне от 0 до 7 м на оз. Большом, до 3.5 м на оз. Комсомольском, до 5 м на оз. Нуксенском,

Рис. 7. Озеро Чёрное



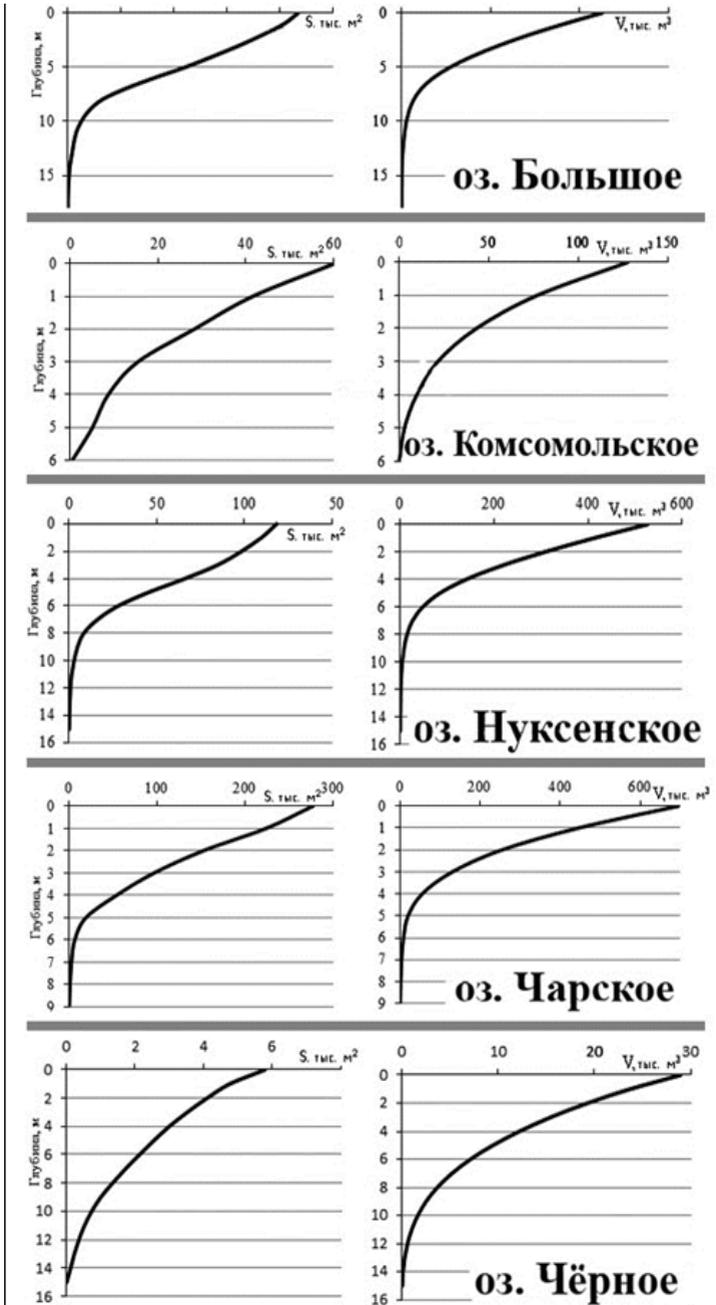


Рис. 8. Батиграфические и объёмные кривые Мухтоловских озёр

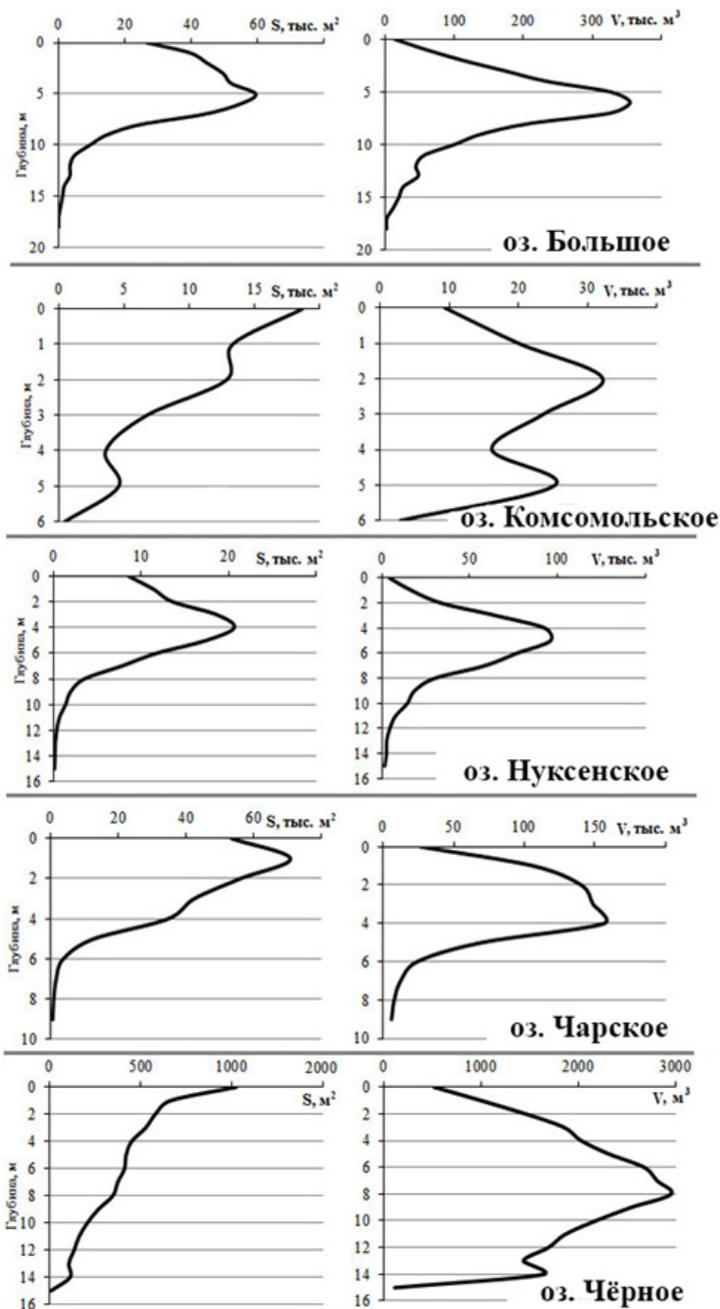


Рис. 10. Кривые распределения площадей и объёмов воды по глубинам

до 4 м на оз. Чарском, и до 8 м на оз. Чёрном. Глубже глубины резко возрастают при незначительном изменении **S** и **V**. Это указывает на то, что глубокие карстовые воронки занимают незначительную часть площади озера.

Графики второго типа демонстрируют, что на оз. Большом преобладают глубины 4-7 м; именно такими глубинами характеризуются наибольшие площади акватории этого озера, где сосредоточены и наибольшие запасы воды. На оз. Комсомольском преобладают мелководья от 0 до 1 метра; наибольший объём воды сосредоточен на глубинах 1.5-2.5 м (рис. 10). У оз. Нуксенского наибольшие площади занимают глубины 2-6 м, основная масса воды сосредоточена в местах с глубинами от 2 до 8 м. В оз. Чарском мелководья от 0 до 2 м занимают наибольшие площади, основной же объём водной массы сосредоточен на акватории с глубинами 1-5 м. В оз. Чёрном по площади преобладают мелководья до 1 м глубиной, основная же часть водной толщи сосредоточена под глубинами от 2 до 12 м.

Таким образом, осуществив детальную эхолотную съёмку и построив цифровые модели котловин Мухтоловских озёр, нам удалось выявить их морфометрические показатели, что будет способствовать более точному определению гидрохимических и гидробиологических параметров водоёмов.

Список литературы

- Артаев О.Н. Построение батиметрической карты водоема // wiki.gis-lab.info. 2014. URL: http://wiki.gis-lab.info/w/Построение_батиметрической_карты_водоема (дата обращения: 16.02.2015).
- Барышников Н.Б. Морфометрические характеристики речных русел и пойм // Ученые записки РГМУ. 2010. № 13. С. 13-17.
- Баянов Н.Г., Кривдина Т.В., Логинов В.В. Озёра юго-запада Нижегородской области // Труды Мордовского государственного природного заповедника им. П.Г. Смидовича. Вып. 12. Саранск; Пушта, 2014. С. 241-263.
- Богословский Б.Б. Озёроведение. М.: Изд-во МГУ, 1960. 335 с.
- Науменко М.А. Новое определение морфометрических характеристик Ладожского озера // Докл. РАН. 1995. Т. 345, №4. С. 514-517.
- Науменко М.А. Новое определение морфометрических характеристик Онежского озера // Докл. РАН. 2000. Т. 370, № 3. С. 393-396.
- Симонов Ю.Г. Морфометрический анализ рельефа. М.-Смоленск: Изд-во СГУ, 1998. 272 с.
- Фридман Б.И. Рельеф Нижегородского Поволжья. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского гуманитарного центра, 1999. 254 с.