

МОДЕЛИРОВАНИЕ СРАБОТКИ ВОДОХРАНИЛИЩА И РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Ю.Н. Шавнина, Н.Г. Максимович, С.В. Пьянков

*Центр геоинформационных систем
Пермского государственного университета (ГИС центр ПГУ);
Естественно-научный институт Пермского государственного
университета (ЕНИ ПГУ), г. Пермь*

Рецензент В.Ф. Калинин

Ключевые слова и фразы: мощность донных отложений; объем грунтов; проседание дна водохранилища; цифровая модель рельефа.

Аннотация. Рассмотрены алгоритмы моделирования процесса сработки водохранилища и оценки пространственного распределения и объема донных отложений. Обоснован выбор метода моделирования. Используемые методические подходы позволили оперативно и с большой точностью определить мощность и объем донных отложений, представляющих экологическую опасность.

Аварийная ситуация на одном из рудников Верхнекамского месторождения калийных солей, приведшая к ее затоплению и образованию провала, поставила вопрос о снижении уровня Нижнезырянского водохранилища, расположенного над выработанным пространством соляных шахт. В связи с этим возникла необходимость в самые короткие сроки оценить экологические риски [1–3], связанные со снижением уровня водохранилища.

Нижнезырянское водохранилище создано в г. Березники на р. Зырянка (бассейн р. Кама) в 1954–1956 гг. для регулирования стока реки и водоснабжения предприятий. Оно представляет собой водоем, вытянутый с востока на запад на 4 км. При нормальном подпорном уровне (НПУ = 114,5 м) площадь зеркала равна 3,65 км², объем 6,9 млн м³. Средняя глубина водохранилища составляет 1,9 м.

Шавнина Ю.Н. – аспирант кафедры высшей математики, инженер ГИС центра ПГУ; Максимович Н.Г. – кандидат геолого-минералогических наук, академик Международной Академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности, заместитель директора по научной работе ЕНИ ПГУ, заведующий лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГУ, старший научный сотрудник ЕНИ ПГУ; Пьянков С.В. – кандидат технических наук, доцент кафедры высшей математики ПГУ, директор ГИС центра ПГУ, г. Пермь.

Основную экологическую проблему при снижении уровня водохранилища, на берегу которого находится крупный промышленный центр, могут представлять донные отложения, которые будут являться источником вторичного загрязнения гидросферы, а при высыхании – источником пыли. Для принятия решений по очистке ложа водохранилища и его рекультивации необходимо было оценить мощность накопившихся донных отложений.

При выборе методических подходов расчета количества донных отложений учитывались особенности Нижнезырянского водохранилища. Значительная часть ложа водохранилища сложена торфом мощностью до 8 м, что существенно затрудняет определение мощности донных отложений как дистанционными методами (георадар, профилограф), так и при промерах вручную. Это связано с тем, что достаточно сложно определить границу донных отложений и торфа, поскольку верхняя его часть переходит в разложившееся состояние. Другой особенностью является проседание дна водохранилища над выработанным пространством шахт, что изменило его конфигурацию по отношению к существовавшей до затопления.

В связи с указанными особенностями для определения мощности донных отложений проводился промер современных глубин, которые сравнивались с рельефом дна по данным топоъемки до затопления водохранилища. При этом учитывалась информация о снижении отметок ложа водохранилища, полученная по картам изолиний оседания вследствие разработки месторождения.

Для расчета мощности донных отложений, которые осушатся при различных уровнях водохранилища, необходимо было выполнить моделирование процесса его сработки.

Основой для решения задач, связанных с процессом сработки водоема и определением мощности отложений, может служить применение цифровой модели рельефа (ЦМР) дна водоема.

При выборе метода построения ЦМР дна водохранилища использованы детерминированные и геостатистические методы интерполяции [4, 5]. Для поиска оптимальной ЦМР использован метод сравнения моделей. Сравнение позволяет определить насколько модель, применяемая для создания геостатистического слоя, лучше, чем какая-либо другая.

Геостатистические методы в отличие от детерминированных методов позволяют дополнительно оценивать стандартную ошибку интерполяции кригинга $d(s_i)$ в каждой интерполируемой точке s_i и строить карту стандартных ошибок интерполяции, которая количественно определяет неопределенность вычислений. Если исследуемые данные подчиняются закону нормального распределения, то истинное значение будет находиться в интервале, определяемом вычисленным значением и двукратной стандартной ошибкой интерполяции примерно в 95 % случаев.

За критерий оптимальности модели принят минимум ошибок интерполяции при перекрестной проверке. Перекрестная проверка помогает принять решение о точности результатов той или иной модели. Она состоит в последовательном удалении из общей совокупности наблюдений одной опорной точки, а затем интерполяции значения этой точки с исполь-

зованием оставшихся данных. В дальнейшем интерполированное значение сопоставляется с фактическим для оценки работы модели.

В качестве исходных данных при построении ЦМР дна Нижнезырянского водохранилища рассмотрены результаты батиметрической съемки глубин.

При построении ЦМР к опорным точкам подобрана модель, учитывающая глобальные тренды в данных. Если в данных существует тренд, он представляет собой неслучайную (детерминированную) составляющую поверхности, которая может быть описана какой-либо математической формулой.

Построена поверхность глубин Нижнезырянского водохранилища всеми доступными методами интерполяции модуля Geostatistical Analyst ArcGIS 9.* с параметрами интерполяции, заданными по умолчанию. Созданные геостатистические слои поверхностей имеют довольно высокие ошибки: E_{ms} – среднеквадратическая ошибка при перекрестной проверке и E_{st} – стандартная ошибка интерполяции (табл. 1).

Существует возможность минимизировать ошибки этих методов оптимизацией параметров интерполяции.

При сравнении всех построенных моделей с оптимизированными параметрами выявлено, что наилучшим образом исходную поверхность рельефа дна водохранилища интерполирует метод ординарного кригинга. Полученная при этом модель учитывает как детерминированный тренд в рельефе дна, описываемый локальными полиномами 3-й степени, так и локальные вариации рельефа. Модель имеет наименьшую среднеквадратичную ошибку при перекрестной проверке ($E_{ms} = 1,452$) и минимальные средние ошибки кригинга ($E_{st} = 0,917$).

Для изучения процесса сработки Нижнезырянского водохранилища использован следующий алгоритм:

– моделирование понижения уровня воды в водохранилище на заданную отметку – выполнение арифметических операций над растровыми моделями глубин. Определение осушенных и покрытых водой зон водохранилища путем реклассификации значений растра;

Таблица 1

Результаты моделирования с параметрами интерполяции, заданными по умолчанию

Метод интерполяции	E_{ms}	E_{st}
Ординарный кригинг	1,55	1,689
Универсальный кригинг	1,55	1,689
Локальными полиномами	1,561	–
Простой кригинг	1,619	2,421
Радиально-базисные функции	1,71	–
Обратно взвешенных расстояний	1,897	–
Глобальным полиномом	3,919	–

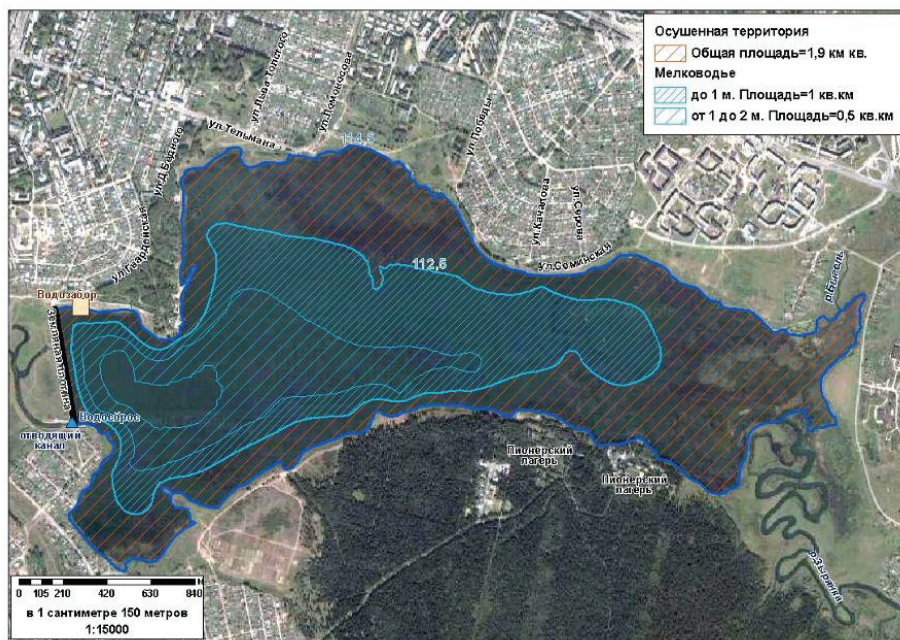


Рис. 1. Анализ морфометрической структуры дна водоема при сработке на 2 м

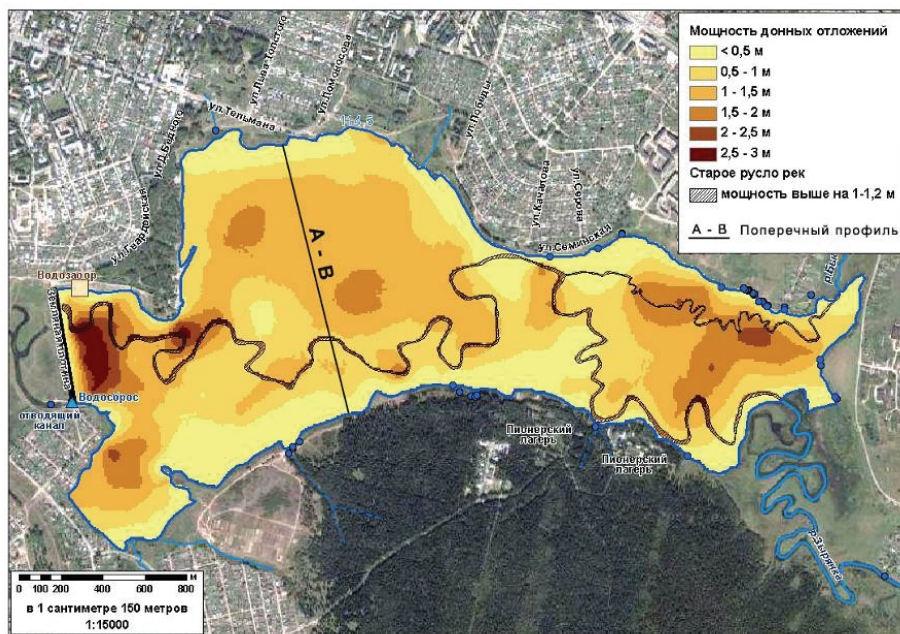


Рис. 2. Пространственное распределение мощности донных отложений

– создание полигонального слоя, содержащего осушенные области и области, покрытые водой. По вычисленным статистическим характеристикам и графикам функций распределения глубин производится анализ морфометрической структуры дна, также возможно сделать выводы о

принадлежности морфометрической структуры дна одному из типов (рис. 1).

Для оценки объема донных отложений на территории Нижнезырянского водохранилища, с учетом понижения его уровня и оседания части дна водохранилища, разработан следующий алгоритм:

- построение ЦМР дна на основе данных о проектных глубинах Нижнезырянского водохранилища (Grid1). Исходная информация – план водохранилища 1950 года (М 1 : 5000);

- построение ЦМР оседания дна на основе данных о суммарных оседаниях (Grid2). Исходная информация – совмещенный план г. Березники и горных работ рудника БКПРУ-1 (М 1 : 10000);

- построение ЦМР дна на основе данных полевых работ в июле–августе 2007 г. (Grid3). Исходная информация – точки промера глубин при фактическом уровне водохранилища на момент проведения исследований. В дальнейшем все отметки глубин приведены к проектному уровню 114,5 м;

- анализ полученных растровых моделей с помощью алгебры карт: Grid1–Grid2–Grid3. Результирующий растр несет в себе информацию о пространственном распределении донных отложений с учетом оседания поверхности (рис. 2);

- вычисление объема проектируемого водоема с учетом оседания поверхности дна (Grid1–Grid2);

- вычисление объема водоема в современном состоянии при отметке 114,5 м (Grid3);

- определение объема донных отложений как разности между объемом проектируемого водоема с учетом оседания поверхности дна и объемом водоема в современном состоянии;

- вычисление объемов обнажившихся донных отложений производится с учетом алгоритма моделирования процесса сработки водохранилища (рис. 3).

Для определения средних мощностей донных отложений на различных участках были построены и совмещены профили дна водохранилища по старым проектным глубинам, с учетом оседания поверхности и по современным глубинам (рис. 4). Помимо оседания поверхности дна при вычислении объема отложений учитывалось старое русло реки.

Модель пространственного распределения донных отложений легла в основу выбора точек отбора проб грунта для определения их экологической опасности. На основании исследований отобранных проб была построена карта распространения грунтов с различной степенью загрязнения.

Заключение

Таким образом, использованные методические подходы позволили оперативно с большой точностью определить мощность донных отложений и объем грунтов, представляющих экологическую опасность, что явилось основой для разработки проекта природоохранных мероприятий по очистке ложа водохранилища и проведения его рекультивации.

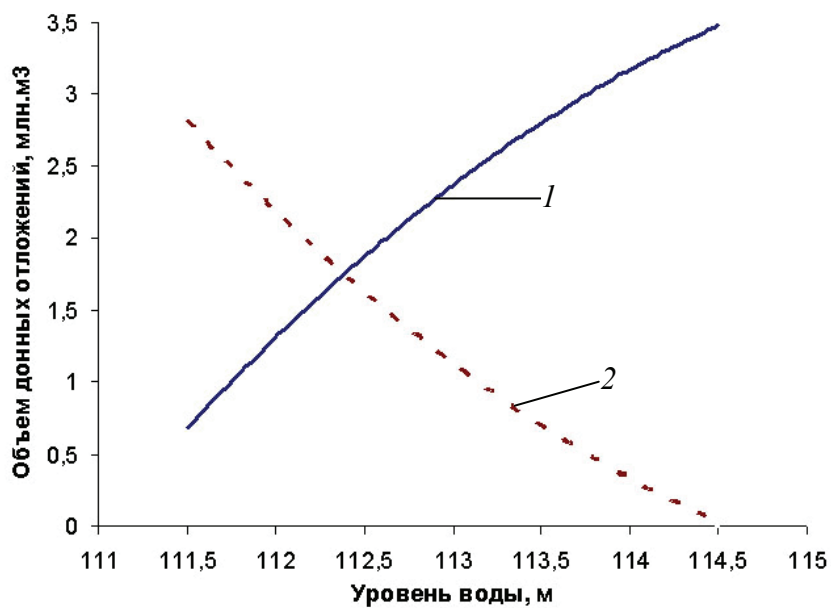


Рис. 3. Вычисление объемов обнажившихся иловых отложений, млн м³:
 1 – донные отложения водоема; 2 – обнажившиеся донные отложения

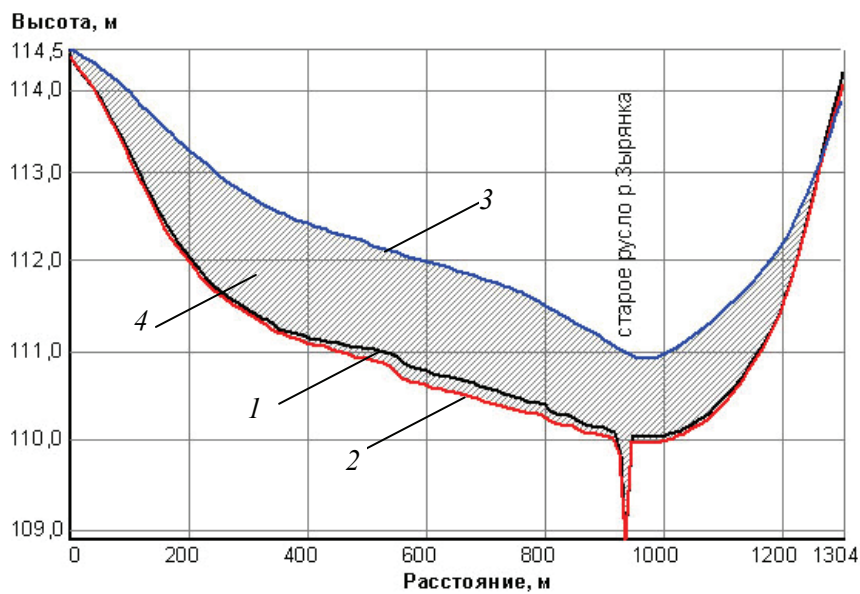


Рис. 4. Поперечный профиль водохранилища по линии А – В (см. рис. 2):
 1 – рельеф дна до затопления; 2 – рельеф дна до затопления с учетом оседания;
 3 – рельеф дна современный; 4 – донные отложения

Список литературы

1. Венецианов, Е.В. Физико-химические основы моделирования миграции и трансформации тяжелых металлов в природных водах / Е.В. Венецианов, А.П. Лепихин ; под науч. ред. А. М. Черняева ; ФГУП КамНИИВХ. – Екатеринбург : Изд-во РосНИИВХ, 2002. – 236 с.
 2. Водохранилища и их воздействие на окружающую среду / Отв. ред. Г.В. Воропаев, А.Б. Авакян. – М. : Наука, 1986. – 367 с.
 3. Попов А.Н., Гневашев М.Г., Сапрыкина А.Ю. // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2004. – Т. 6, № 3. – С. 233.
 4. ArcGIS Desktop Developer Guide ArcGIS 9.1. Published by ESRI 380 New York Street Redlands, California 92373-8100. – 340 p.
 5. ArcGIS 9 Geostatistical Analyst Руководство пользователя. Published by ESRI 380 New York Street Redlands, California 92373-8100, Russian Translation by DATA+, Ltd. – 277 p.
-

Modeling of Water Basin Usage and Estimation of Bottom Sedimentation

Y.N. Shavnina, N.G. Maksimovich, S.V. Pyankov

GIS Center of Perm State University

Institute of Natural Science of Perm State University, Perm

Key words and phrases: power of the sedimentation; bulk up (of the soil); deflection water basin bottom; digital model of relief.

Abstract. Algorithms of modeling of water basin usage and estimation of spatial distribution of bulk up have been considered. The choice of the method of modeling has been proved. The used methodical approaches have enabled to define thickness and volume of grounds representing ecological danger quickly and with the great accuracy.

© Ю.Н. Шавнина, Н.Г. Максимович, С.В. Пьянков, 2007