

УДК 511.2; 528.9

Экспериментальные измерения объемов подводных отложений хвостов и жидких промышленных отходов в накопителе на основе эхолотации и GPS-систем в ОАО «Беларуськалий»

Канд. геогр. наук, доц. В. И. Михайлов¹⁾,
инженеры В. Э. Зейтц²⁾, С. И. Кононович³⁾, Ю. Н. Чиберкус³⁾, А. О. Искрицкая¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь),

²⁾ОАО «Беларуськалий» (Солигорск, Республика Беларусь),

³⁾ЗАО «Экомир» (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2016
Belarusian National Technical University, 2016

Реферат. Изложен новый подход к вычислению объемов подводных отложений хвостов и жидких промышленных отходов на основе инновационных технологий. Традиционно для топографической съемки дна шламохранилища использовали два теодолита, установленных в разных точках, и лодку с грузом для промера глубины дна. Теодолитами одновременно измеряли горизонтальные направления на маркер лодки. Глубину дна определяли посредством опускания на веревке в соляной раствор круглого груза массой 2 кг. Такая технология, кроме больших временных и трудовых затрат, требовала синхронизации действий всех троих участников работ: исполнителей двух теодолитов и экипажа лодки в каждой точке промера глубины. Для более эффективного решения этой задачи предложена методика использования эхолотации для определения глубины ложа накопителя (шламохранилища) в комплексе с системами космического позиционирования (GPS-системы), которые можно разместить на лодке. Датчик эхолотации монтировали под днищем лодки на глубине 10 см от уровня рассолов в шламохранилище. Антенну GPS-приемника устанавливали над датчиком эхолота. Плановую привязку точек промера глубины дна выполняли в местной системе координат. После ввода данных координатной привязки соответствующих им откорректированных глубин в пакете программных средств LISCAD Plus SEE выполняли формирование цифровой модели дна шламохранилища на основе метода строгой триангуляции. Создание цифровой модели позволяет достаточно просто вычислить объем между дном складохранилища и выбранным уровнем (высотой наполнителя). При этом определить объем и площадь не только выше, но и ниже отчетной поверхности можно способом построения цифровых моделей за разные периоды времени эксплуатации шламохранилища.

Ключевые слова: шламохранилище, эхолот, электронный тахеометр, программный комплекс LISCAD Plus SEE

Для цитирования: Экспериментальные измерения объемов подводных отложений хвостов и жидких промышленных отходов в накопителе на основе эхолотации и GPS-систем в ОАО «Беларуськалий» / В. И. Михайлов [и др.] // *Наука и техника*. 2016. Т. 15, № 2. С. 131–138

Experimental Measurements of Tailing Underwater Sediments and Liquid Industrial Wastes in Storage Tank on the Basis of Echolocation and GPS-Systems at JSC “Belaruskali”

V. I. Mikhailov¹⁾, V. E. Zeits²⁾, S. I. Kononovich³⁾,
Yu. N. Chiberkus³⁾, A. O. Iskrietskaya¹⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus),

²⁾JSC “Belaruskali” (Soligorsk, Republic of Belarus),

³⁾ZAO “Ecomir” (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The paper presents a new approach to calculate volume of tailing underwater sediments and liquid industrial wastes on the basis of innovative technologies. Two theodolites which are set at various points and a boat with a load for measuring

Адрес для переписки

Михайлов Владимир Иванович
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 150,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 265-95-97
inggeod@bntu.by

Address for correspondence

Mikhailov Vladimir I.
Belarusian National Technical University
150 Nezavisimosty Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 265-95-97
inggeod@bntu.by

water depth have been traditionally used for topographic survey of slime storage bottom. Horizontal directions have been simultaneously measured on the boat marker while using theodolites. Water depth has been determined while using a 2-kg circular load which was descended into brine solution with the help of rope. In addition to rather large time and labour costs such technology has required synchronization in actions on three participants involved in the work: operators of two theodolites and boat team in every depth measuring point. Methodology has been proposed for more efficient solution of the problem. It presupposes the use of echolocation together with space localization systems (GPS-systems) which can be set on a boat with the purpose to measure depth of a storage tank bed. An echolocation transducer has been installed under the boat bottom at the depth of 10 cm from the brine solution level in the slime storage. An aerial of GPS-receiver has been fixed over the echo-sounder transducer. Horizontal positioning of bottom depth measuring points have been carried out in the local coordinate system. Formation of digital model for slime storage bottom has been executed after data input of the coordinate positioning that corresponded to corrected depths in the software package LISCAD Plus SEE. The formation has been made on the basis of a strict triangulation method. Creation of the digital model makes it rather easy to calculate a volume between a storage bottom and a selected level (height of filling material). In this context it is possible to determine a volume and an area not only above but also lower of the datum surface. For this purpose it is recommended to use digital models which are developed for various time periods of slime storage operation.

Keywords: slime storage, echo-sounder, electronic tachometer, software complex LISCAD Plus SEE

For citation: Mikhailov V. I., Zeits V. E., Kononovich S. I., Chiberkus Yu. N., Iskrikskaya A. O. (2016) Experimental Measurements of Tailing Underwater Sediments and Liquid Industrial Wastes in Storage Tank on the Basis of Echolocation and GPS-Systems at JSC "Belaruskali". *Science & Technique*. 15 (2), 131–138 (in Russian)

Производство калийных удобрений связано с достаточно большими объемами отходов обогатительных фабрик – твердых галитовых и жидких глинисто-солевых шламов, складированием которых занимаются специальные службы добывающего предприятия. И если солевые отвалы для складирования твердых галитовых отходов обогащения могут обходиться без особых мероприятий при хранении, то эксплуатация шламохранилищ для складирования жидких глинисто-солевых шламов требует периодического учета баланса по твердому шламу и объему рассолов. В рамках этих требований правилами эксплуатации шламохранилищ предусмотрено выполнение периодической топографической съемки дна шламохранилища, которая позволяет обосновать его эффективную эксплуатацию и своевременно принимать меры по обеспечению расчетных параметров и предотвращению аварийных ситуаций [1, 2].

Как правило, для топографической съемки дна шламохранилища используются два теодолита и лодка со специальным грузом для промера дна. На берегу на известном расстоянии в пределах прямой видимости друг друга и лодки устанавливали два теодолита. Затем в местах промера глубины дна шламохранилища измеряли горизонтальные углы направлений на маркер на лодке. Далее, используя геометрические соотношения, вычисляли координаты местоположения лодки. Глубину определяли путем опускания в соляной раствор круглого груза массой около 2 кг, к которому привязывали промаркированную веревку. Такая технология, кроме больших временных затрат, требовала

синхронизации действий всех троих участников работ: обоих исполнителей теодолитов и экипажа лодки (поскольку измерения углов и промер глубины дна должны быть выполнены согласованно).

Появление электронных тахеометров могло бы частично решить эту проблему. Используя только один тахеометр, необходимо определить координаты местоположения лодки. Но по-прежнему тахеометр должен устанавливаться на берегу шламохранилища и его измерения надо согласовывать с промером глубины дна примитивным способом.

В настоящее время весьма эффективно использование эхолокации для определения глубины ложа накопителя (шламохранилища) в комплексе с системами космического позиционирования (GPS-системы). Их можно разместить непосредственно на лодке совместно с персональным компьютером со специализированным программным обеспечением для обработки, планирования, интерпретации и документирования данных. Таким образом, определение объемов подводных отложений хвостов и жидких промышленных отходов в накопителе можно свести к следующим задачам:

- измерению глубины дна с помощью эхолота;
- координатной GPS-привязке места измерения глубины;
- построению цифровой модели дна шламохранилища;
- вычислению объемов шлама и рассолов.

Практическая схема решения такой задачи, реализованная на шламохранилищах ОАО «Беларуськалий», представлена на рис. 1.

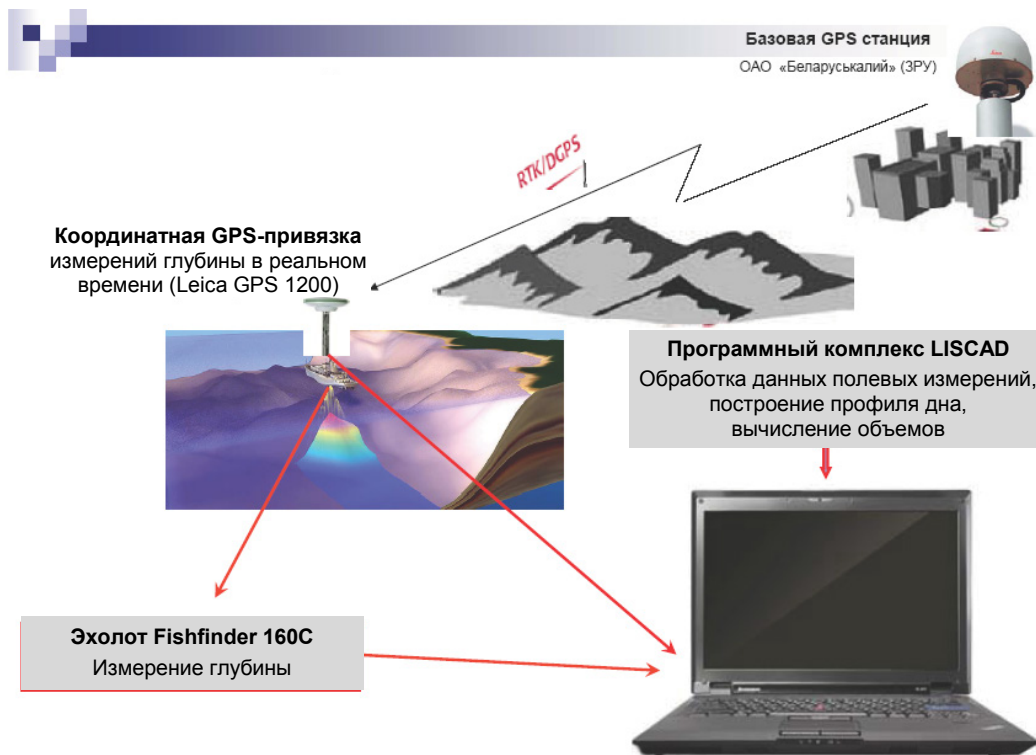


Рис. 1. Схема автоматизированной системы определения объемов подводных отложений хвостов и жидких промышленных отходов в накопителе

Fig. 1. Diagram of automated system for volume determination of tailing underwater sediments and liquid industrial wastes in storage tank

Первая из перечисленных задач оказалась одной из самых трудоемких в методическом плане, поскольку использование серийных эхолотов для определения глубины шламохранилища осложняется тем, что среди их множества подавляющее большинство используется рыбаками-любителями в пресных водоемах. И лишь небольшая часть спектра эхолотов предназначена для профессионального картографирования дна водоемов и работы в соляной (морской) воде. Информация же о возможности выполнять эхолотом измерения глубины дна в концентрированном соляном растворе в литературных источниках весьма незначительна.

Как известно, эхолот, или сонар (англ. sonar, аббревиатура от Sound navigation and ranging), – устройство для исследования рельефа дна водного бассейна с помощью акустического излучения. Датчик эхолота излучает узконаправленный ультразвуковой сигнал в воду и получает обратно отраженный сигнал от плавающих предметов, рыбы и донной поверхности. По времени, за которое сигнал прошел до отраженных поверхностей и обратно, опреде-

ляется расстояние. Эхолот, как и любой другой измерительный прибор, неизбежно содержит погрешности в своих показаниях. Поэтому необходимо периодически контролировать точность его работы. Обычно проверка точности эхолота выполняется перед началом выполнения исследований.

Погрешности измерения глубины эхолотом делятся на случайные и систематические. Случайные погрешности возникают из-за нестабильности работы электронного тракта прибора, шумов приемника отраженного сигнала, неровностей дна, неоднородностей грунта. Проявляются они как частые изменения результатов измерений на индикационном дисплее эхолота.

Систематические погрешности обусловлены, как правило, следующими причинами:

- отклонением фактической скорости звука в воде от расчетного значения, заложенного в вычислительное устройство эхолота;
- разнесением вибратора-излучателя от вибратора-приемника;
- неточной установкой нуля глубин.

Причины возникновения систематических погрешностей перечислены по мере их убывания. Вторую причину можно исключить (используя совмещенную антенну и отражатель). Третья в рассматриваемом случае очень мала. Поскольку измерения проводятся при небольшом волнении, наибольший вклад в суммарную систематическую погрешность вносят отклонения фактической скорости звука. При этом данные погрешности могут достигать значительных величин, так как они будут пропорциональны измеряемой глубине: чем больше глубина, тем больше и систематическая погрешность. По этой причине скорость распространения звука в жидких глинисто-солевых шламах существенно отличается от скорости в пресной или морской воде. Поэтому в рассматриваемом случае использовать непосредственно эхолот не представляется возможным.

В общем виде скорость распространения звука в однородных средах описывается достаточно сложным дифференциальным уравнением. В данной статье для вычисления реальной глубины дна шламохранилищ использовали приближенные формулы, учитывающие температуру и соленость жидких глинисто-солевых шламов [3–8]:

$$H = H_0 + \Delta H, \quad (1)$$

где H_0 – глубина, измеренная эхолотом, м; ΔH – систематическая погрешность измерения глубины эхолотом вследствие отклонения фактической скорости звука, м,

$$\Delta H = H_0(C - C_p)/C_p; \quad (2)$$

C_p – расчетная скорость звука в чистой воде, м/с; C – фактическая скорость звука в соляном растворе, м/с.

Теория Вильсона (1960) для нулевой глубины дает следующее значение скорости звука:

$$C = 1449,2 + 4,623T - 0,0546T^2 + 1,39(S - 35), \quad (3)$$

где C – скорость звука, м/с; T – температура, °C; S – соленость, ‰.

Соленость – содержание солей в воде, измеряется в ‰ (промилле) или в единицах PSU (Practical Salinity Scale). Другими словами, соленость в промилле – это количество твердых веществ (в граммах), растворенное в 1 кг морской воды, при условии, что все галогены заме-

нены эквивалентным количеством хлора, все карбонаты переведены в окислы, органическое вещество сожжено.

Модельные вычисления, выполненные с использованием формулы (1) для наиболее характерных параметров шламохранилища, предоставленных маркшейдерской службой за десятилетний период наблюдений, приведены в табл. 1:

- соленость 266 ‰ – максимальная;
- соленость 253 ‰ – средняя;
- соленость 180 ‰ – минимальная.

Таблица 1

Коэффициенты изменения скорости звука в соляных растворах

Sound velocity change coefficient in brine solution

Номер п/п	Соленость, ‰	Коэффициент изменения скорости звука C/C_p при $t, ^\circ\text{C}$			
		23	18	15	5
1	266	1,37	1,36	1,36	1,33
2	253	1,36	1,35	1,34	1,32
3	220	1,32	1,31	1,31	1,28
4	180	1,28	1,27	1,27	1,24

Из приведенных данных следует, что при средней солености растворов шламохранилища 253 ‰, изменениях температуры рассолов от 23 до 15 °C существенных изменений в измеряемой глубине дна не будет наблюдаться. Так, при глубинах около 5 м (в рассматриваемом случае – это в районе максимальных из наблюдаемых глубин) и среднем коэффициенте $C/C_p = 1,35$ систематическая погрешность измерения глубины эхолотом не будет превосходить 5 см. Для глубин, меньших 5 м, такая погрешность еще меньше. Таким образом, в диапазоне температур жидких шламов (15–23) °C определяющим в изменении скорости звука будет их соленость.

Правильность приведенных выше соотношений была проверена эмпирическим путем. Для этого глубина, измеренная с помощью эхолота, корректировалась с учетом формул (1), (2). Температуру жидких шламов определяли путем прямого измерения, соленость шламов – по данным ведомственной лаборатории ОАО «Беларуськалий». Полученный результат сопоставляли с измерениями, выполненными прямым способом.

Дно покрыто взвесью шлама, который уплотняется с увеличением толщины слоя, причем градиент уплотнения возрастает в глубину. Вследствие этого глубина, измеряемая, например, с помощью вехи, существенно зависела от вертикальных усилий, которые прилагались при ее установке. Небольшие усилия изменяли проникновение вехи в шлам на десятки сантиметров. Так, на небольших глубинах при визуальной оценке до границы слоя взвеси порядка 20–40 см веха могла проникать на глубину порядка метра и более. Таким образом, прилагать одинаковые вертикальные усилия при контроле глубины вехой не представлялось возможным.

В основу контрольных измерений глубины положен способ, который базировался на опускании в соляной раствор круглого груза массой 2 кг. К круглому грузу привязывали промаркированную веревку и глубину, измеренную эхолотом, сопоставляли с глубиной, измеренной веревкой с грузом. В случае необходимости с лодки опускали якорь, для того чтобы зафиксировать лодку на месте (исключить ее дрейф). Фиксированный вес груза обеспечивал одинаковое во всех измерениях его проникновение во взвесь шлама. Результаты сопоставительного анализа измерений глубины дна шламохранилища с помощью эхолота, веревки с грузом и скорректированные величины измерения эхолота с учетом температуры и солености жидких шламов приведены на рис. 2. Контрольные измерения выполняли при температуре жидких шламов 23 °С, солености 255 ‰.

На рис. 2 видно, что максимальные различия между глубинами, измеренными веревкой с грузом и эхолотом, наблюдаются в диапазоне больших глубин шламохранилища. Это можно объяснить как повышенными требованиями к точности исходных данных (температуре и солености шламов) на момент съемки, так и некоторым несоответствием модели распространения звука в реальных жидких шламах, поскольку в них, кроме растворенных веществ, могут содержаться и другие – нерастворенные. Для малых глубин до 0,5 м наблюдаются отклонения в измерении глубины эхолотом с другим знаком. Этот факт можно объяснить влиянием, кроме перечисленных выше причин, еще и работой эхолота на предельном допуске диапазона измерений.

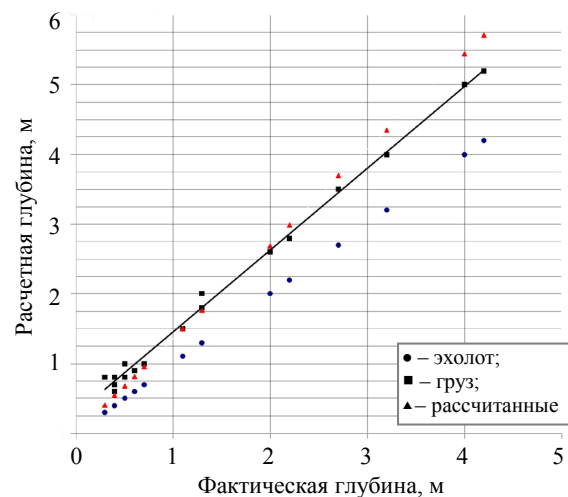


Рис. 2. Контрольные измерения глубины шламохранилища

Fig. 2. Control measurements of slime storage depth

Описанный подход был апробирован на шламохранилище «Карта 8» ОАО «Беларуськалий». Датчик эхолота монтировали под днищем лодки на глубине 10 см от уровня рассолов в шламохранилище. Антенну GPS-приемника устанавливали над датчиком эхолота. Плановую привязку выполняли в режиме реального времени с использованием постоянно действующей базовой станции. Координаты точек промера глубины дна на поверхности определяли в местной системе координат GPS-приемниками серии GPS1200 швейцарского концерна Leica Geosystems AG.

После ввода данных координатной привязки и соответствующих им откорректированных глубин в пакете программных средств LISCAD Plus SEE выполняли моделирование рельефа дна, т. е. формирование цифровой модели местности на основе метода строгой триангуляции. Создание цифровой модели позволяет достаточно просто вычислить объем между дном шламохранилища и выбранным уровнем (высотой наполнения). При этом определить объем и площадь можно не только выше, но и ниже отсчетной поверхности. Создав цифровые модели на разные временные периоды эксплуатации шламохранилища, можно оценить количество твердых шламов, которые скопились в нем.

Для полевых данных выполнили обработку в соответствии с описанными этапами. Всего обработано и проанализировано более 500 наблюдений, включая и вспомогательные наземные измерения. В результате для построения

цифровой модели дна шламохранилища использовали порядка 330 точек с измеренными глубинами. По цифровой модели рельеф дна был отображен горизонталями в традиционном виде. Выполнены вычисления объемов для различных уровней заполнения шламохранилища жидкими глинисто-солевыми шламами. Для визуализации дна шламохранилища использовали программный модуль 3D View LISCAD Plus SEE, который позволяет в интерактивном режиме анализировать объемное изображение профиля дна шламохранилища (рис. 3).

Оценка точностных характеристик полученных результатов при определении объемов твердых и жидких шламов в накопителе является важным аспектом при принятии правильных решений для осуществления стабильной эксплуатации шламохранилищ. На практике использовать прямые методы оценки (например, заполнение тарированных емкостей и т. д.) не представляется возможным.

В классической маркшейдерии для вычисления объемов используются данные планово-высотной съемки поверхности горных пород, полученные методом тахеометрической или фототеодолитной съемки. При этом предполагается, что для повышения точности вычисления объема пород необходимо располагать большим количеством съемочных точек. Однако общее число точек не регламентируется

и количественная оценка результатов определения объемов не предполагается. В настоящей статье предложен практически удобный и простой способ оценки точности полученных результатов, широко применяемый в вычислительной математике. Он заключается в следующем.

Из всех точек планово-высотной съемки выделяются точки с четными номерами. На их основе строится цифровая модель, и для нее вычисляется объем. Для нечетных номеров точек планово-высотной съемки построения повторяются. Вычисленные объемы сравниваются. Если различия, вычисленные по четным и нечетным точкам, находятся в допустимых пределах, то объем принимается равным их среднему значению и считается, что определение выполнено с требуемой точностью.

Как отмечалось выше, после обработки полевых измерений получены 328 точек с координатами дна шламохранилища. По всем этим точкам построена цифровая модель и вычислено количество рассолов для уровня с абсолютной высотной отметкой 167,0 м (в местной системе координат).

Далее для всех 164 точек с четными номерами (идентификаторами) также построена цифровая модель и вычислено количество рассолов для уровня 167,0 м. Для 164 точек с нечетными номерами выполнены аналогичные расчеты. Полученные результаты приведены в табл. 2

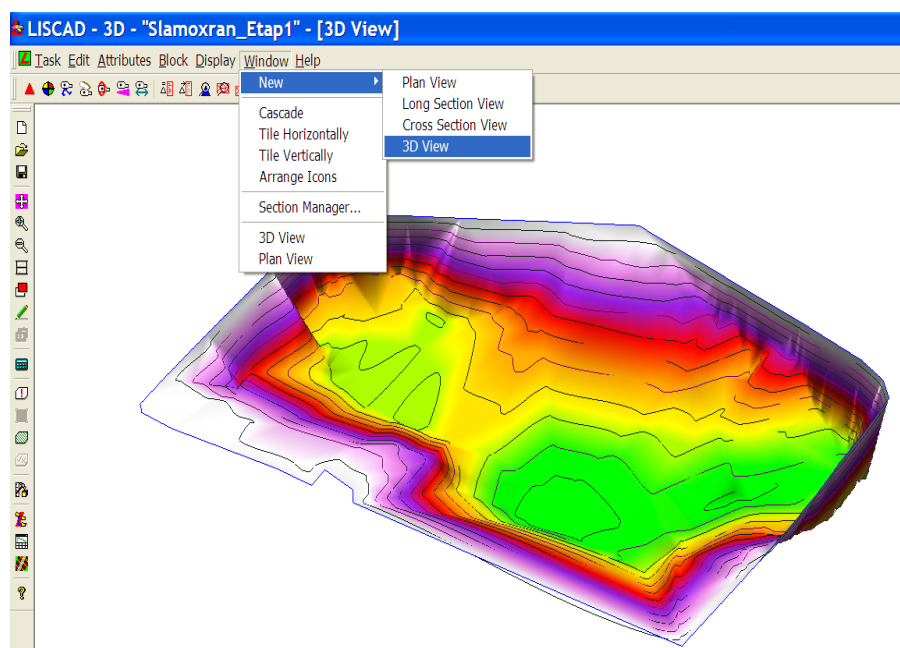


Рис. 3. Цифровая модель дна шламохранилища

Fig. 3. Digital model of slime storage bottom

Таблица 2
Погрешности вычисления объемов
Errors in volume calculations

Номер п/п	Точка	Вычисленный объем, м ³	Различия между вычисленными объемами, %
1	328 (все)	2884042	
2	164 (четные)	2847318	1,27
3	164 (нечетные)	2865780	0,63

В четвертом столбце табл. 2 приведены значения объемов в процентах, вычисленных по 164 точкам от объема, определенного по 328 точкам. Из табл. 2 видно, что различия не превышают 1,5 % и, следовательно, количество точек, используемых для вычисления объемов, достаточно. Кроме того, изменение высот на 10 см (погрешность определения глубины эхолотом) приводит к большему отличию в вычислении объема. Так, объем рассолов, найденный для высотной отметки 167,1 м (на 10 см больше), составляет 2968580 м³, что на 2,88 % больше, чем для 167,0 м. Или, иными словами, погрешность в измерении глубины дна шламохранилища в 10 см приводит к погрешностям

определения рассолов для данного шламохранилища около 3 %.

Другой существенный аспект, влияющий на погрешность определения объемов, – выбор расположения точек. Поэтому рельеф дна шламохранилища характеризуется различающимися градиентами изменения глубины. Причем в ряде случаев существенно (рис. 4а). Из рис. 4 видно, что изменение глубины у северо-западного берега достигает до 4 м. В то время как западный и восточные берега достаточно пологие и не отличаются большим градиентом изменения глубины. Для сравнения, на рис. 4б приведен рельеф дна шламохранилища, полученный на основе традиционных измерений в 2003 г.

При общем подобии рис. 4а и б все же наблюдаются и различия в структуре дна шламохранилища у северо-западного и южного берегов. Здесь в отличие от рельефа дна 2011 г. рельеф 2003 г. не характеризуется большим градиентом изменения глубины.

Это различие может быть объяснено погрешностями построения рельефа дна, обусловленными недостаточным количеством и местом исходных измерений для более достоверного построения поверхности дна шламохранилища.

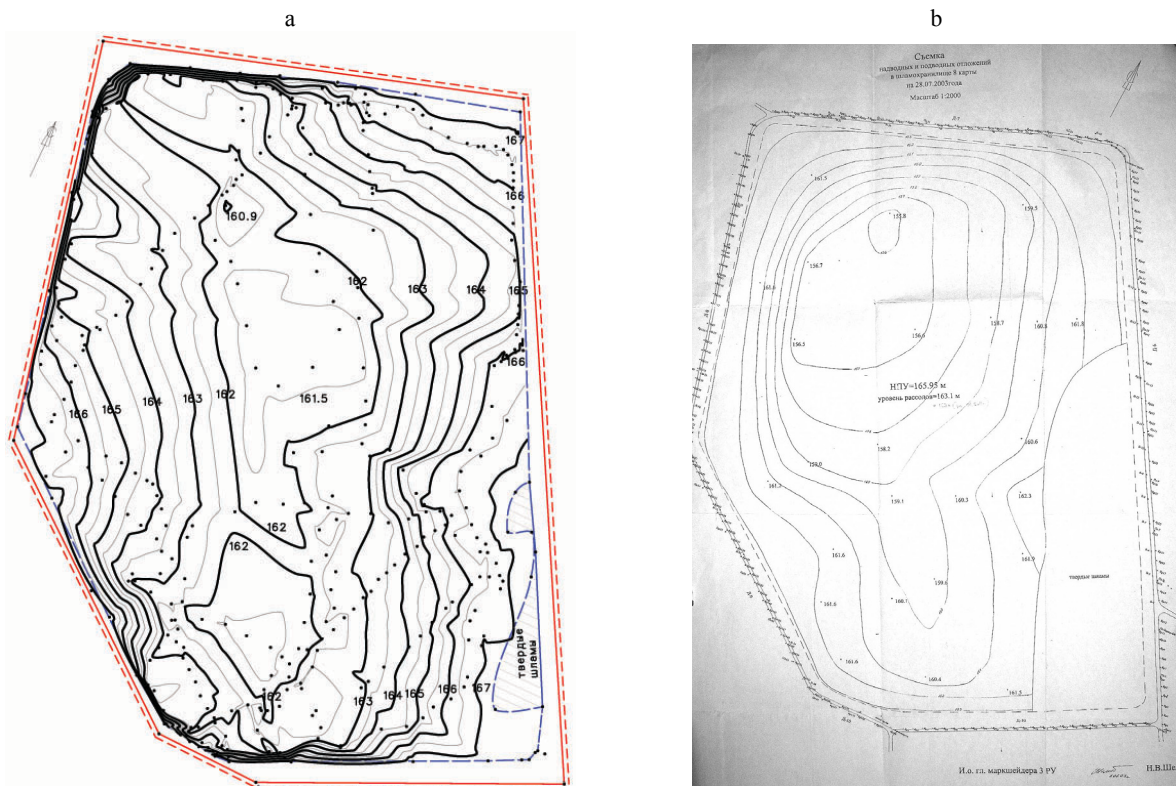


Рис. 4. План дна шламохранилища «Карта 8» масштаба 1:5000: а – сентябрь 2011 г.; б – июль 2003 г.

Fig. 4. Lay-out of slime storage “Map 8”, scale 1:5000: a – September, 2011; b – July, 2003

ВЫВОД

Описанная методика определения подводных отложений хвостов и жидких промышленных отходов в накопителе (шламохранилище) позволяет существенно сократить время полевых работ, повысить оперативность и точность получаемых результатов и решить вопросы мониторинга окружающей среды [9, 10]. Установленный на борту лодки эхолот может в автоматическом режиме регистрировать глубину дна шламохранилища с привязкой плановых координат измерений высокоточным GPS-приемником. При этом цифровая регистрация всех изменений сводит к минимуму время камеральной обработки и документирования результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила безопасности при эксплуатации хвостовых и шламовых хозяйств горнорудных и нерудных организаций / Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. 2007. № 8/16318.
2. Корнеев, В. И. Красные шламы. Свойства, складирование, применение / В. И. Корнеев, А. Г. Сусс, А. И. Цеховой. М.: Металлургия, 1991. 144 с.
3. Тяшкевич, И. А. Сейсмичность Солигорского промрайона и ее связь с неогеодинимическими зонами / И. А. Тяшкевич, В. Н. Губин, А. П. Емельянов // Калийные соли Беларуси: состояние, освоение месторождений, перспективы развития, проблемы: тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф., 1999. С. 56–60.
4. Позняк, А. С. О геодезическом контроле строящихся и эксплуатируемых зданий и сооружений / А. С. Позняк, В. И. Михайлов // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. 2006. № 3. С. 18–20.
5. Комплекс программно-технических средств для определения профиля дна шламохранилища глинисто-солевых шламов / В. Э. Зейтц [и др.] // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 10-й Междунар. науч.-техн. конф.: в 4 т. Минск: БНТУ, 2012. Т. 3. С. 39.
6. Ковалев, А. А. Мониторинг состояния природной среды Солигорского района на основе ГИС-технологий / А. А. Ковалев, В. Н. Кузьмин // Калийные соли Беларуси: состояние, освоение месторождений, перспективы развития, проблемы: тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф., 1999. С. 137–139.
7. Новые системы спутникового позиционирования Leica Viva GNSS / А. А. Ковалев [и др.] // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 9-й Междунар. науч.-техн. конф.: в 4 т. Минск: БНТУ, 2011. Т. 3. С. 34.
8. Бергман, Л. Ультразвук и его применение в науке и технике / Л. Бергман. М.: Иностран. лит., 1957. 728 с.
9. Михайлов, В. И. Мониторинг природных ландшафтов Солигорского промышленного района на основе дистанционного зондирования / В. И. Михайлов, И. А. Тяшкевич // География и проблемы регионального развития Белоруссии. Минск: Вышэйш. шк., 1985. С. 85–90.
10. Экспериментальный геодезический мониторинг Солигорских солеотвалов на основе инновационных технологий / В. И. Михайлов [и др.] // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 12-й Междунар. науч.-техн. конф.: в 3 т. Минск: БНТУ, 2014. Т. 3. С. 46.

Поступила 21.12.2015

Подписана в печать 08.02.2016

Опубликована онлайн 30.03.2016

REFERENCES

1. Safety Instructions on Operation of Tailing and Slime Facilities of Mining and Non-Metallic Enterprises. Decision of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus. *Natsionalnyi Reestr Pravovyykh Aktov Respubliki Belarus* [National Inventory of Legal Materials of the Republic of Belarus], 2007, (8/16318) (in Russian).
2. Korneev V. I., Souss A. G., Tsekhevoy A. I. (1991) *Red Mud. Properties, Storage, Application*. Moscow, Metallurgiya. 144 (in Russian).
3. Tyashkevich I. A., Goubin V. N., Emelyanov A. P. (1999) Seismic Activity of the Soligorsk Industrial Zone and its Relation with Neo-Geodynamic Zones. *Kalijnye Soli Belarusi: Sostojanie, Osvoenie Mestorozhdenij, Perspektivy Razvitiya, Problemy: Tez. Doklad. Mezhdunar. Nauch.-Prakt. Konf.* [Potassium Salts in Belarus: State, Deposit Development, Prospects, Problems: Report Abstracts of International Scientific and Practical Conference], 56–60 (in Russian).
4. Poznyak A. S., Mikhailov V. I. (2006) On Geodesic Control Over Buildings and Facilities Which are Under Construction and Which Have Been Constructed. *Avtomatizirovannye Tehnologii Izyskanij i Proektirovanija* [Automated Surveying and Design Technologies], (3), 18–20 (in Russian).
5. Zeits V. E., Kuzmin V. N., Kononovich S. I., Chiberkus Yu. N., Tereshina O. Ju. (2012) Complex of Software and Hardware Tools for Determination of Bottom Profile in Slime Storage for Clay-Salt Slime. *Nauka – Obrazovaniiu, Proizvodstvu, Ekonomike. Materialy 10 Mezhdunar. Nauch.-Tekhn. Konf. T. 3* [Science to Education, Industry, Economics. Proceedings of 10th International Science and Technical Conference. Vol. 3]. Minsk: BNTU, 39 (in Russian).
6. Kovalev A. A., Kuzmin V. N. (1999) Monitoring of Natural Environment State in the Soligorsk Region on the Basis of GIS-Technologies. *Kalijnye Soli Belarusi: Sostojanie, Osvoenie Mestorozhdenij, Perspektivy Razvitiya, Problemy: Tez. Doklad. Mezhdunar. Nauch.-Prakt. Konf.* [Potassium Salts in Belarus: State, Deposit Development, Prospects, Problems: Report Abstracts of International Scientific and Practical Conference], 137–139 (in Russian).
7. Kovalev A. A., Chiberkus Yu. N., Kononovich S. I., Tereshina O. Ju. (2011) New Satellite Positioning Systems Leica Viva GNSS. *Nauka – Obrazovaniiu, Proizvodstvu, Ekonomike. Materialy 9 Mezhdunar. Nauch.-Tekhn. Konf. T. 3* [Science to Education, Industry, Economics. Proceedings of 9th International Science and Technical Conference. Vol. 3]. Minsk: BNTU, 34 (in Russian).
8. Bergman, L. (1957) *Ultra-Sound and its Application in Science and Technology*. Moscow, Inostrannaya Literatura. 728 (in Russian).
9. Mikhailov V. I., Tyashkevich I. A. (1985) Monitoring of Natural Landscape in the Soligorsk Industrial Zone on the Basis of Remote Sensing. *Geografija i Problemy Regionalnogo Razvitiya Belorussii* [Geography and Problems of Regional Development in Belarus]. Minsk, Vyshnejshaja Shkola, 85–90 (in Russian).
10. Mikhailov V. I., Koljago M. L., Nuprejchik E. A. (2014) Experimental Geodesic Monitoring of the Soligorsk Salt Tailings Piles on the Basis of Innovation Technologies. *Nauka – Obrazovaniiu, Proizvodstvu, Ekonomike. Materialy 12 Mezhdunar. Nauch.-Tekhn. Konf. T. 3* [Science to Education, Industry, Economics. Proceedings of 12th International Science and Technical Conference. Vol. 3]. Minsk: BNTU, 46.

Received: 21.12.2015

Accepted: 08.02.2016

Published online: 30.03.2016