© Ю.В. Кириченко, М.В. Щёкина, 2006

УДК 550.8

Ю.В. Кириченко, М.В. Щёкина

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ИЗЫСКАНИЙ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ТЕХНОГЕННЫХ МАССИВОВ

Семинар № 1

Безопасная и эффективная эксплуатация техногенных массивов на всех этапах существования обеспечивается принятием грамотных многовариантных решений. Обоснованность этих решений базируется на достоверных данных о состоянии массива и динамики его изменения во времени.

Исследования производятся с целью получения информации, использование которой позволяет решать конкретные задачи. Инженерно-гео-логические исследования техногенных массивов близки к изысканиям для строительства и к поискам и разведке полезных ископаемых.

В результате многолетнего опыта исследований гидроотвалов, хвостохранилищ, отвальных массивов в горной и строительной промышленностях, коммунальном хозяйстве г. Москвы выявлены главные принципы инженерно-геологических исследований таких массивов.

1. Принцип полноты исследований, который требует получение максимально достоверной информации о состоянии и свойствах техногенного массива (включая район его расположения). Первое требование полноты инженерно-геологических исследований – оконтуривание массива, т.е. выделение полигона, на котором будут производиться изыскания. Второе требование – изучение не только пород слагающих массив, но основания и откосных сооружений. Третье - комплексный подход, т.е. изучение массива с учетом всех направлений его дальнейшего использования: от рекультивации до разработки массива с целью вторичного использования слагающих его грунтов.

2. Принцип последовательных приближений заключаются в последовательном изучении массива по этапам и стадиям.

3. Принцип равной достоверности подразумевают более или менее равномерное изучение всего массива.

4. Принцип наименьших трудовых и материальных затрат - один из главных и требует, чтобы количество исследований было минимальным, но полученные результаты были достоверны и достаточны для решения всего круга задач, которые могут возникнуть при дальнейшем использовании массива.

5. Принцип наименьших временных затрат (или срочности информации) заключается в получении максимально возможной информации в кратчайшие сроки.

6. Принцип непрерывности («вчерашней необходимости»). Исследования необходимо начинать на стадии проектирования горнотехнических сооружений, вести в течение всего периода эксплуатации и заканчивать только после

полной рекультивации массива (остаются контрольные наблюдения).

Техногенные массивы обладают значительной пространственно-вре-менной изменчивостью, что обусловлено рядом факторов, как природных, так и техногенных. Поэтому при инженерно-геологических исследованиях важно определить характер и причины изменчивости, что позволяет скорректировать исследования и более полно изучить массив. Под характером изменчивости понимают общую тенденцию изменений, т.е. возрастающие, убывающие, волнообразные, скачкообразные и их комбинации. Основная трудность при составлении плана инженерно-геологических изысканий является определение направления, характера и объема работ. Задача существенным образом облегчается при исследованиях отложений, для которых степень изменчивости состава, свойств и характеристик выявлена предшествующими исследованиями.

Применительно к намывным массивам изменчивость свойств и состояния техногенных отложений в значительной степени зависит от технологии возведения сооружения и геологических условий вскрышного участка (для гидроотвалов) или применяемого вида обогащения (для хвостохранилищ). Например, грансостав отложений имеет квазифункциональную изменчивость по фронту намыва (у выпусков сосредотачиваются песчаные фракции, а в прудковой зоне - глинистые и коллоидные частицы). Показатели водно-физических свойств, показатели компрессии и сопротивления сдвигу в однородном намывном массиве также имеют функциональную изменчивость по глубине массива.

Следует учитывать, что в намывных массивах изменчивость по фрон-ту намыва меньше и она в основном закономерна, чем вкрест фронта. По глубине массива основное влияние на характер изменчивости оказывает вид укладываемого грунта и интенсивность возведения сооружения.

Изучение закономерностей изменчивости позволяет определять допустимые величины интерполяции и экстраполяции полученных данных.

На базе сформулированных принципов приоритетные направления инженерно-геологических исследований техногенных массивов по степени достоверности результатов можно классифицировать:

- натурные (полевые) исследования техногенных отложений, откосных сооружений и грунтов оснований, позволяющие получать информацию непосредственно в массиве (in situ). К ним относятся определения сопротивлений пенетрации (задавливанию конических зондов) и сдвигу (с помощью крыльчатого зонда), порового давления (с помощью датчиков-пьезо-динамометров), уровня депрессионной кривой (с помощью пьезометров или замеров воды в скважинах), лито-логического состава (при бурении инженерно-геологических скважин, а также по сопротивлению задавливания зонда);

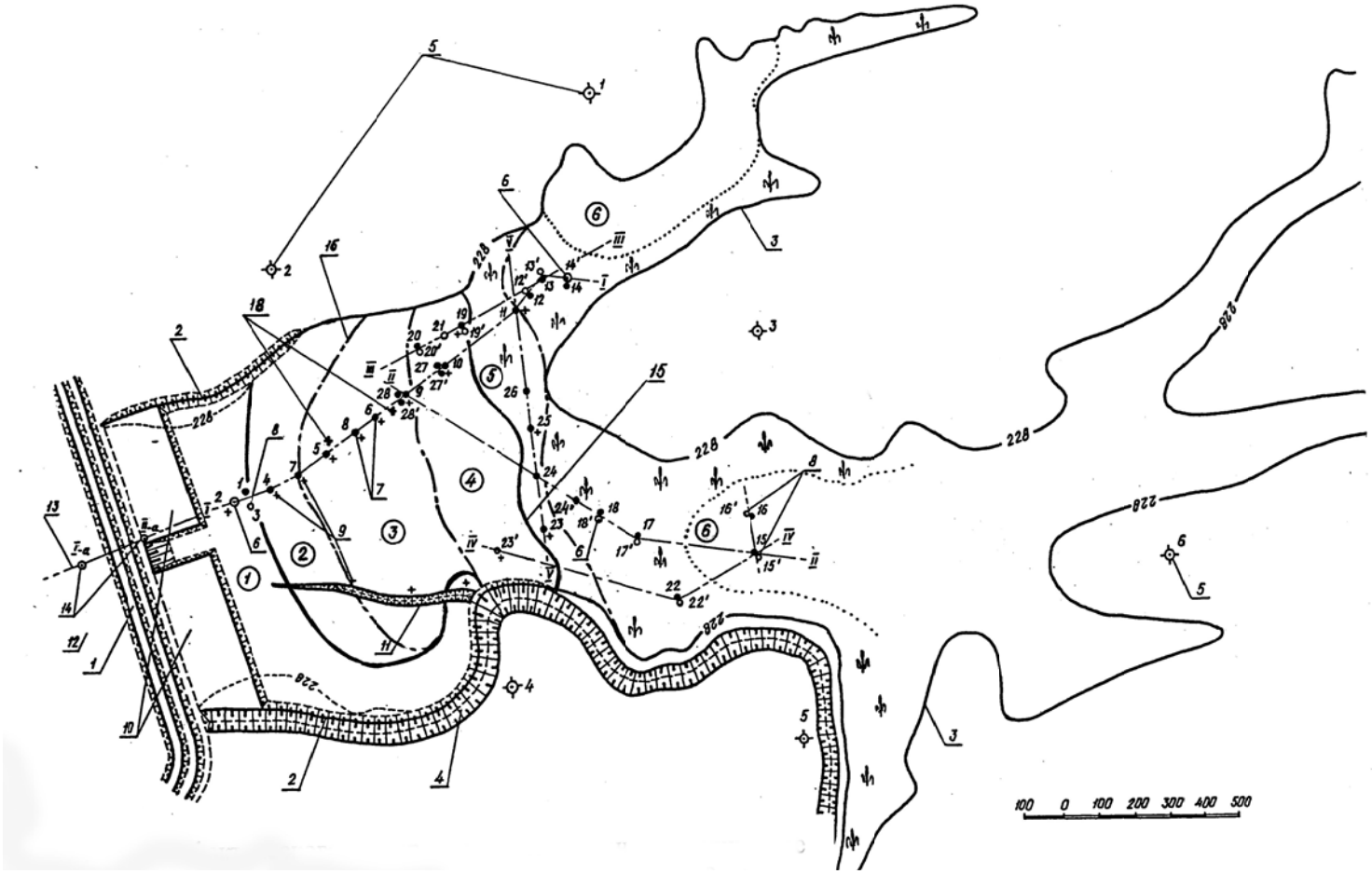
- маркшейдерские наблюдения за уровнем воды в прудке-отстойнике намывных сооружений, осадками техногенных массивов, сдвиговыми деформациями откосных сооружений. Маркшейдерские наблюдения правомерно отнести к натурным исследованиям, но они предназначены не для изучения состояния и свойств техногенных отложений, а для фиксирования процессов, происходящих в них. В то же время посредством решения обратных задач можно определить ряд свойств этих отложений;

- лабораторные испытания грунтов, при которых определяют гранулярный состав техногенных отложений, показатели водно-физических свойств, компрессии, сопротивления сдвигу и т.п.

Все эти направления взаимосвязаны между собой, дополняют одно другое, их результаты влияют на объемы исследований по отдельным группам изысканий, поэтому большое значение имеют достоверность и представительность получаемой информации. Чем обширнее изыскания, чем масштабнее и полновесней исследования, тем меньше вероятность ошибки и расхождения полученных характеристик с характеристиками отложений в массиве. В то же время большие объемы исследований связаны с высокими трудовыми и экономическими затратами, значительной временной протяженностью работ. Достижение идеального сочетания принципов инженерно-геологических исследований - задача практически невыполнимая. Например, при исследовании намывного массива гидроотвала «Лог Шамаровский» была оборудована сеть маркшейдерского обеспечения, включающая шесть опорных триангуляционных пунктов (Рис.1). Причем пункты №№ 3, 5 и 6 создали из-за недостаточной топографической основы ложа и поверхности гидроотвала. Для контроля за уровнем воды в прудке-отстойнике и осадками намывного массива оказалось достаточно наблюдений с пунктов №№ 1, 2 и 4 (т.е. не были соблюдены принципы 4 и 5).

На рисунке показана карта фактического материала и инженерно-геологическое районирование территории гидроотвала «Лог Шамаровский» (07.1999 г.), где *1* – упорная призма (плотина №4); *2* – вспомогательные дамбы обвалования; *3* – граница заполнения гидроотвала; *4* – во-доотводная канава; *5* – репера; *6* – стационарная наблюдательная скважина; *7* – зондировочные скважины; *8* – инженерно-геологические скважины; *9* – шурфы; *10* – рекультивированная территория гидроотвала; *11* – промоина; *12* – хвостохранилище; *13* – контрольный профиль; *14* – места закладки пьезодинамометров; *15* – границы инженерно-геологи-ческих зон; *16* – границы инженерно-геологических участков; *17* – заболоченная часть, заросшая камышом и тальником; *18* – шурфы 07.1999 г.; ① - пляжная зона степень уплотнения U=1,0; сущая способность $P_{доп}$ > 1,5 кг/см^2; ② - пляжно-промежуточная зона U=0,85; $P_{доп}$=1,0 – 1,5 кг/см^2; ③ - промежуточная зона U=0,6 - 0,85; $P_{доп}$=0,75 – 1,0 кг/см^2; ④ - промежуточно-прудковая зона U=0,4 - 0,6; $P_{доп}$=0,5 – 0,75 кг/см^2; ⑤ - прудковая зона U < 0,4; $P_{доп}$ << 0,5 кг/см^2; ⑥ - зеркало воды.

Из-за отсутствия достоверных данных о мощности намывных отложений и строении массива (недостаток исходной документации о свойствах разрабатываемых пород, порядке и времени укладки их в гидроотвал) при зондировании массива комбинированным зондом МГГУ пришлось дополнительно измерять мощности намывных отложений и пробурить ряд инженерно-геологических скважин с отбором проб и замерами глубины. Как видно из рисунка скважины 5, 6, 8, 9 и 28; 13 и 14; 11, 12 и 26; 19-25; 15-18 и 22 находятся в одних и тех же зонах гидроотвала, т.е. при проведении полевых работ около 25-30 % скважин оказались лишними, так как не несли качественно новой информации о свойствах намывных отложений.



Карта фактического материала и инженерно-геологическое районирование территории гидроотвала «Лог Шамаровский» (07.1999 г.)

В пляжной зоне гидроотвала была оборудована стационарная наблюдательная скважина № 2, в которой на различной глубине заложили 3 датчика-пьезодинамометра. Однако после камеральной обработки результатов зондирования в пунктах 1, 4, 7 установлено, что процессы консолидации в этой зоне намывного массива окончились, информация от этих датчиков не позволяла по-новому прогнозировать «поведение» объекта в будущем, то есть не соблюдены принципы 4, 5 и частично - 1.

Поэтому после проведения первых стадий научно-исследовательских работ на гидроотвале «Лог Шамаровский» было разработано программное обеспечение с использованием компьютера «Compaq», позволяющее обрабатывать данные зондирования одновременно с внедрением зонда. В то же время для соблюдения принципа 4 и определения области применения компьютерной программы пройдено дополнительно четыре скважины (27, 27′, 28 и 28′), при зондировании в которых применялись параллельно традиционные и компьютерные замеры показаний и обработки данных. Дальнейшее совершенствование этой программы осуществлено при зондировании III-й секции гидроотвала «Березовый Лог».

Анализ показал, что при изучении массива гидроотвала «Лог Шамаровский» около 20 % скважин практически не давали новую информацию о физико-механических и прочностных свойствах пород гидроотвала. Так, при зондировании по основному инженерно-геологическому профилю I-I и вспомогательному - III-III из 18 зондировочных скважин шесть (4, 6, 8, 11, 20, 21) дали лишь незначительную дополнительную информацию о свойствах намывных отложений и основания, которая не оказала влияния на прогноз состояния гидроотвала.

В то же время для обеспечения точности получаемых результатов необходимо знать минимальное количество замеров по зонам, учитывающим степень однородности отложений (показателей и свойств).

Необходимое количество измерений (проб, точек зондирования и т.п.) определяется с учетом среднего квадратичного отклонения S

$$S = \pm\sqrt{\frac{\sum\left(x_i - \bar{x}\right)^2}{n-1}} \qquad (1)$$

и коэффициента статистической изменчивости

$$v = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100\% \qquad (2)$$

где $\bar{x}$ - среднее значение из n показателей и x_i - частное значение.

В частности, при оценке состояния гидроотвала «Лог Шамаровский» Михайловского ГОКа кафедрой геологии МГГУ было пройдено 44 скважины (всего более 420 пог. м). Полевые работы производились в течение 1995-1999 гг. и состояли из 7 этапов. Кроме этого было пройдено 18 шурфов и отобрано около 50 проб для лабораторных исследований грунтов.

Для оценки состояния намывного массива применялись датчики, которые закладываются или задавливаются в грунт, типа ПДС-3п, ПДС-10п с диапазоном измерения порового давления до 3-10 кг/см^2 (0,3–1 МПа) с погрешностью измерения не более 2 %. Именно этими датчиками были оснащены комбинированные зонды МГГУ-ДИГЭС, которыми проводилось зондирование гидроотвала «Лог Шамаровский», занимающего площадь 250 га и вместимостью 21,0 млн м^3 суглинистых грунтов; мощность

намывных масс $h_я$ достигает 28 м. Исследования проводились с целью обоснования выбора направления рекультивации.

Полученные прогнозные значения осадок и несущей способности намывного массива имели расхождение с фактически измеренными впоследствии не более 10 %. Расчетные значения осадок определялись по формуле:

$$S(t) = a_0 P h_я \left[1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1,3,5} \frac{1}{n^2} \cdot e^{-\frac{\pi^2 n^2 C_v}{4d^2} \cdot t_0} \right] \quad (3)$$

где $0{,}5\gamma' h_я = P$ - давление от собственного веса, слагающего массив грунта, т/м^2; C_v - коэффициент консолидации, м^2/сут.; t_o - время «отдыха» гидроотвала, сут.; $a_0 = \dfrac{a}{1+\varepsilon_{cp}}$ - приведенный коэффициент сжимаемости, м^2/т; d – длина пути фильтрации, м; ε_{cp} – средний коэффициент пористости; γ' - плотность грунта. т/м^3.

На начальном этапе исследовании оказалось, что расчетные и фактические значения осадок имеют значительное расхождение (до 30-50 %). Анализ приведенных исследований показал, что ошибка возникла вследствие неправильного определения бокового распора при компрессионных испытаниях грунта. Это связано, в первую очередь, с трудностью отбора и сохранения образцов пластичного и текучепластичного грунта в естественном состоянии.

По фактическим измеренным осадкам был уточнен коэффициент относительной сжимаемости (a_o) и при дальнейших расчетах он принимался в виде:

$$a_0^э = a_0 \cdot \beta \quad (4)$$

где β - коэффициент, учитывающий боковой распор [1].

Определение мощности намывного массива производилось по длине буровых штанг металлической рулеткой (РМ-30) и погрешность σ_h составляла не более ±1 см. Так как в выражении (3)

$$\left[1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1,3,5} \frac{1}{n^2} \cdot e^{-\frac{\pi^2 n^2 C_v}{4d^2} \cdot t_0} \right] = U,$$

то точность определения степени уплотнения U значительно влияла на точность определения осадок. Применяемые при зондировании намывного массива зонды имеют погрешность измерения не более 2 %. Поэтому при варьировании степени уплотнения в различных зонах гидроотвала от 0,1 до 1,0, расхождение могло составить от 0,002 до 0,02.

Стандарт погрешности (среднеквадратическая погрешность - СКП) при этом составит:

$$\sigma_s = \sqrt{\left(0{,}5\gamma' h_я^2 U\right)^2 \sigma_a^2 + \left(0{,}5 a_0' h_я^2 U\right)^2 \sigma_\gamma^2 + \left(a_0' \gamma' h_я^2 U\right)^2 \sigma_h^2 + \left(0{,}5 a_0' \gamma' h_я^2\right)^2 \sigma_U^2}, \quad (5)$$

где σ_a - стандарт погрешности по коэффициенту относительной сжимаемости; σ_γ - стандарт погрешности по плотности намывных грунтов; σ_h - стандарт погрешности по мощности намывного массива; σ_u - стандарт погрешности по степени уплотнения.

Применительно к условиям промежуточной зоны гидроотвала «Лог Шамаровский» составляющие формулу (5) варьировались в следующих пределах:

Параметр	Значение	
	min	max
a_o, м^2/т	0,0066	0,0085
γ', т/м^3	1,85	2,04
$h_я$, м	3,2	20
U	0,05	1,0

Расчеты свидетельствуют, что точность определения искомых параметров является достаточной для последующего

обоснования инженерных решений по рекультивации гидроотвала. Анализ статистических данных, полученных при зондировании техногенных массивов, показывает, что для более достоверного определения точности измерений необходимо учитывать ковариацию исследуемых параметров [2, 3].

Успешная рекультивация значительной части территории гидроотвала «Лог Шамаровский» подтвердила достоверность полученных при инженерно-геологических исследованиях данных и целесообразность разработанных инженерных решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кириченко Ю.В.* Геоэкологические аспекты формирования техногенных массивов. – М.: Геология и разведка, №6, 1999, с.124-129
2. *Кордонский Х.Б.* Приложение теории вероятности в инженерном деле. – Л.: Гос.изд-во физ-мат. лит-ры, 1963, 434 с.
3. Смирнов Н.В., Белугин Д.А. Теория вероятностей и математическая статистика в приложении к геодезии. – М.: Недра, 1969, 379 с.

Коротко об авторах

Кириченко Ю.В., Щёкина М.В. – кафедра геологии, Московский государственный горный университет.

Р У К О П И С И ,

ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

1. *Кармановская Н.В.* Разработка системы обработки статистических данных (528/12-06 — 19.10.06) 4 с.
2. *Маркеев М.А., Петухова Л.И.* Организационно-технологические принципы формирования горно-металлургического производства (529/12-06 — 19.10.06) 4 с.
3. *Петухова Л.И.* Анализ иерархической структуры модулей горно-металлургического производства (530/12-06 — 19.10.06) 4 с.
4. *Петухова Л.И.* Влияние внешних факторов на эффективность функционирования модулей обработки и транспортирования (531/12-06 — 19.10.06) 5 с.