

УДК 622.51

## ГИДРОДИНАМИКА ЗАТОПЛЕНИЯ УГОЛЬНЫХ ШАХТ В УСЛОВИЯХ ДЕФОРМАЦИОННОГО РЕЖИМА СДВИГОВОЙ ЗОНЫ

Дьяченко Н. А., Шевченко Е. Н., Кучук В. Ф.  
(УкрНИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

*У роботі проаналізована динаміка відновлення рівнів підземних вод підробленого й затоплюваного гірського масиву території ліквідованих шахт Пролетарського і Будьонівського районів м. Донецька. За даними натурних п'єзометричних спостережень за період 2004 – 2011 рр. встановлено характер зміни воронки депресії, що раніше утворилася, та швидкостей затоплення виробленого простору й проведено аналіз процесу відновлення гідростатичного рівня підземних вод з використанням сучасних методів математичного оброблення. Також розглянуті питання впливу тектонічних й геоморфологічних особливостей території, що досліджується, на сучасний гідрологічний режим.*

*Dynamics of groundwater level recovery for undermined and water hazard rock mass at the area of abandoned mines in Proletarsky and Budionivsky districts of Donetsk city is reviewed in the article. By data of field piezometric studies for the period of 2004-2011 behaviour of previously formed cone of depression and flooding rate of mine goaf are determined and analysis of the recovery process of groundwater hydrostatic level is made using up-to-date methods of mathematical treatment. The influence of tectonics features on the present-day hydrological regime and hence, contemporary geomorphic process, is examined in this study.*

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Донецко-Макеевский углепромышленный район (ДМР) –

территория, которая в течение продолжительного времени испытывала воздействие горных разработок каменного угля. Добыча полезного ископаемого осуществлялась под защитой дренажа при понижении уровня подземных вод на сотни метров. В последние десятилетия сложившееся равновесие нарушено. С середины 90-х гг. угольная отрасль Украины проходит этап реструктуризации. В соответствии с программой «Уголь Украины», ряд нерентабельных шахт поставлен на «мокрую консервацию», которая подразумевает естественное восстановление уровней подземных вод путем отключения шахтных водоотливных установок. Это коренным образом меняет сложившуюся до этого гидродинамическую и геомеханическую обстановку в густонаселенном районе.

В Донецком бассейне, где разработки угля ведутся более двухсот лет, верхние горизонты отработаны давно. В 1917 г. в Донбассе работало 1604 шахты. К началу 40-х годов 20-го века в Донбассе имелось свыше 200 мелких наклонных шахт [1]. В период восстановления затопленных во время войны шахт для быстрого получения угля в бассейне было заложено свыше 600 мелких наклонных шахт с горными работами на малых глубинах. Таким образом, практически вся поверхность бассейна оказалась подработанной в разные периоды на малых глубинах (20-100 м). Поэтому во многих случаях планы горных работ на них отсутствуют, а современное состояние горных выработок и подработанного массива неизвестно. Кроме того, в Донбассе имеется значительное количество непогашенных или неудовлетворительно погашенных стволов, старых вертикальных и наклонных шахт, шурфов, вентиляционных сбоек и т.д. массовое закрытие угольных шахт вызывает подъем подземных вод, которые могут служить причиной активизации сдвижений над близповерхностными горными выработками. Основной предпосылкой активизации геомеханических процессов являются сохранившиеся остаточные пустоты и вторичная трещиноватость в подземном пространстве. Самоликвидация этих пустот приведет к повторному сдвигению толщи горных пород и проявлению этих процессов на земной поверхности, в виде деформаций, сдвижений и провалов.

Анализ фактического материала по «мокрой» консервации горных выработок (ГВ) и результаты ранее проведенных гидрогеологических исследований на полях шахт Донбасса, так же, как и опыт затопления ГВ во время ВОВ [2-7], позволили установить, что водоприток в затапливаемую шахту формируется за счет: инфильтрации атмосферных осадков, питания транзитными водами, содержащимися в приповерхностном водоносном горизонте (ПВГ) и за счет бокового притока. Следовательно, закономерности восстановления уровней подземных вод до ПВГ и выше будут различными.

В нарушенном горными выработками блочном горном массиве режим поступления воды в выработанное пространство и формирование специфических гидродинамических условий затопления, собственно как и восстановление пьезометрических уровней, происходит под влиянием совокупности взаимодействия многочисленных независимых природных (климатических, геоморфологических, геологических, гидрогеологических) и технологических факторов [8]. Под технологическими факторами подразумеваются – формы и размеры участка горных работ, глубина и система разработки, объем выработанного пространства. К первой группе факторов относятся – климат, рельеф местности, наличие поверхностных текущих вод, степень обнаженности коренных пород, литологический состав вмещающих пород, структурные и тектонические особенности залегания, количество водоносных горизонтов и их мощность, напоры, гидравлическая связь с поверхностными водами, изменение водопроницаемости с глубиной. Например, в период паводков притоки воды в ГВ увеличиваются на 30–40 % по сравнению со среднегодовыми [9]. Следует отметить, что для гидрогеологических условий ведения горных работ в Донбассе поверхностные воды оказывают существенное влияние до глубины порядка 100–250 м [9].

Затопление шахты – долговременный процесс, протекающий в сложных горно-геологических условиях блочного массива, нарушенного горными работами, в условиях перетоков воды в горные выработки закрытых и связанных с ними действующих шахт. В этих случаях при затоплении образуется единый водный бассейн, вода из которого с суммарным притоком может перетекать через имеющиеся гидравлические связи. Происходящие при

затоплении шахты гидродинамические процессы в системе «подработанный массив – затопление» изучены недостаточно, результаты существующих математических гидродинамических моделей и прогнозных расчетов продолжительности затопления ликвидируемых шахт существенно отличаются от фактических значений, полученных по данным динамики затопления шахт [10], закономерности формирования пьезометрических уровней на разных этапах затопления не изучены. В этой связи научная задача изучения конкретной гидродинамической обстановки на базе реальных данных пьезометрических наблюдений в ходе затопления ГВ не только является актуальной, а первоочередной.

**Актуальность настоящей работы** обусловлена недостаточной изученностью гидродинамики закрывающихся шахт, т.е. процессов формирования ореолов затопления и восстановления зеркала подземных вод в результате «мокрой консервации» угольных разрезов в сложных горно-геологических условиях.

**Постановка задачи.** Цель настоящей работы – выявление закономерностей формирования пьезометрических уровней и локализации депрессионных понижений на разных этапах затопления на основе учета структурно-геологических, геоморфологических и технологических особенностей затопливаемого массива горных пород для принятия технологических решений по вопросам контроля, оценки и прогноза состояния подземных и гидравлически связанных с ними поверхностных вод, а так же объективного и своевременного информационного обеспечения природоохранных мероприятий.

**Объекты исследований** – скорость затопления и динамика уровней воды в скважинах и стволах режимной гидронаблюдательной сети Буденовского и Пролетарского районов г. Донецка; геоморфологические процессы.

**Методы исследований.** При обработке данных использовались методы математической статистики, математического моделирования, структурной геометрии углепородного массива и методы цифровой геологической картографии.

Исследуемый район (рис. 1) расположен на застроенной территории г. Донецка и охватывает отработанные площади ликвидированных шахт Пролетарского и Буденовского районов: № 9 Капитальная, № 6 Красная Звезда, ш/у им. Газеты Правда (№ 12-

18, № 2, № 8, № 13), № 8 Чулковка, № 8 Наклонная, Запереваль-  
ная № 1, № 2, Мушкетовская, 60 лет Советской Украины, Глубо-  
кая.

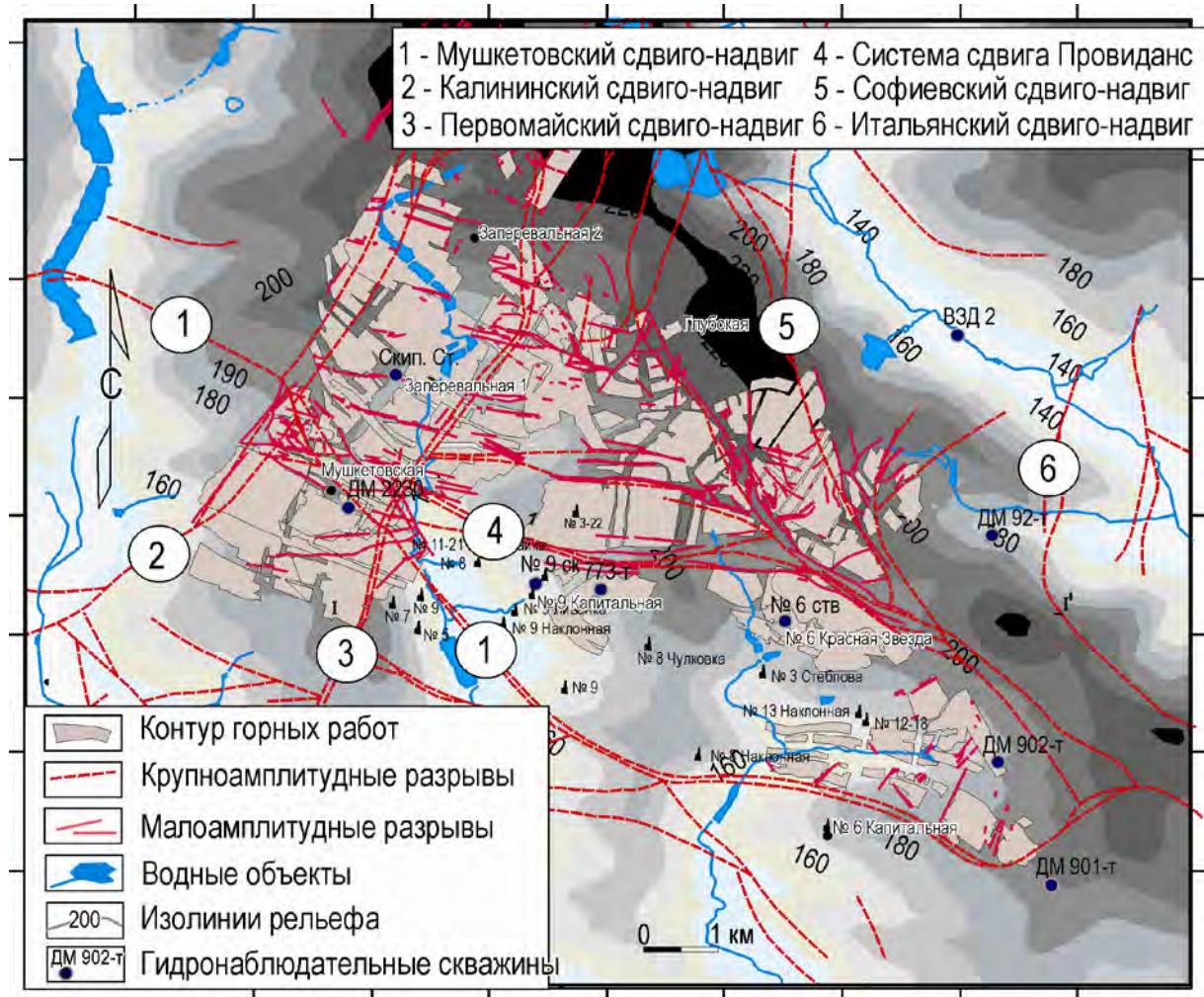


Рис. 1. Цифровая карта рельефа земной поверхности участка исследований с детализацией фактического материала: контура горных работ, тектонической нарушенности, овражно-балочной сети и гидронаблюдательных скважин

Затопление закрытых шахт района началось в 1997-1999 гг. и продолжается в настоящее время. Шахты разрабатывали угольные пласты смоляниновской свиты  $C_2^3$ :  $h_{10}$ ,  $h_8$ ,  $h_7$ ,  $h_6$ ,  $h_4$ ,  $h_3$ ,  $h_2^1$ ,  $h_2$ , и пласт  $g_2$  моспинской свиты  $C_2^2$  (табл. 1).

Таблица 1

Краткая характеристика ликвидированных шахт и отработанных угольных пластов исследуемой территории

Шахта	Пласт	Абс. отметка отработки, от /до, м	Ср. мощность пласта, м	Годы отработки, от-до
1	2	3	4	5
№ 12 Наклонная	$g_2$	-20 / -150	0,78	1983 - 1998
	$h_3$	+120 / -350	0,91	1955 - 1991
№ 6 Красная Звезда	$h_6$	-200 / -310	0,87	1940 - 2000
	$h_7$	-135 / -292	1,33	1914 - 1996
	$h_8$	-125 / -181	0,88	1949 - 1981
	$h_{10}$	+10 / -155	1,19	1915 - 1970
№ 9 Капитальная	$h_2^1$	-90 / -380	0,61	1952 - 1996
	$h_3$	-60 / -412	0,71	1950 - 1995
	$h_6$	-20 / -300	1,04	1913 - 1998
	$h_7$	-70 / -280	0,93	1912 - 1989
	$h_{10}$	+90 / -192	0,87	1904 - 1973
№ 6	$h_7$	+138 / +98	0,93	1904 - 1932
№ 12-18	$h_3$	+115 / -255	0,67	1955 - 1989
	$h_4$	+120 / -380	1,07	1974 - 1995
	$h_7$	+110 / -110	1,10	1909 - 1940
	$h_8$	+110 / -140	0,70	1945 - 1964
	$h_{10}$	+120 / -20	1,21	1908 - 1956
№ 8 Наклонная	$h_3$	/ -390	0,66	1909 - 1974
№ 8	$h_8$	/ -200	1,09	1904 - 1956
№ 2 (два крыла)	$h_3$	+125 / -370	0,68	1900 - 1984
	$h_2^1$	+80 / -370	0,66	1958 - 1990
	$h_2$	+75 / -345	1,07	1961 - 1988
	$g_2$	-250 / -360	0,82	1990 - 1994
№ 11-21	$h_8$	/ -250	1,18	1914 - 1967
	$h_6$	/ -20	1,52	1904 - 1959
№ 12	$h_8$	/ -172	1,2	1915 - 1956
№ 9 Наклонная	$h_8$	/ -140	1,23	1912 - 1950
Глубокая	$h_{10}$	-86 / - 840	1,15	1957 - 2006
	$h_8$	-170 / - 465	0,7	1964 - 2004
	$h_4$	-312 / - 700	0,8	1989 - 2004
	$h_6$	-260 / - 610	0,95	1977 - 2003
60 л. Сов. Украины	$h_{10}$	+10 / - 750	1,22	1959 - 2006
	$h_8$	-60 / - 550	0,74	1959 - 2006
	$h_4$	-235 / - 600	1,03	1979 - 2006

Исследуемая площадь расположена на водоразделе р. Грузская и р. Кальмиус и представляет собой степное пространство с перепадом высот до 100 м (мин. - +120 м, макс. - +220 м). Постоянный водоприток имеют балки Обеточная и Богодуховская с отрогом в виде б. Чумакова (см. рис. 1).

В тектоническом отношении район исследований приурочен к юго-восточной части Кальмиус-Торецкой котловины, к ее крупному тектоническому блоку, ограниченному на западе и юге Калининским и Мушкетовским сдвиго-надвигами, на востоке – Итальянским концентрическим сдвиго-надвигом [11]. Секущее положение в блоке занимает система «Провиданс», которая состоит из серии ветвей (сброс и надвиг) и образует сложную взаимодействующую систему сдвиго-сбросо-надвига. Наиболее крупные разрывные нарушения характеризуются наличием значительных зон дробления пород: для Мушкетовского – в среднем 46,7 м, для Первомайского – 63 м.

Горные отводы шахт, на которых находятся гидронаблюдательные скважины, заключены в различных тектонических блоках (см. рис. 1). Наряду с крупными тектоническими формами широкое распространение получила система малоамплитудных разрывов (см. рис. 1) сдвигового генезиса [12].

В работах [13, 14] установлено, что пространственное положение разрывов малой амплитуды смещения в центральной части ДМР в пределах различных блоков, границами которых являются крупные региональные сдвиго-надвиги, связано с ориентацией векторов главных нормальных напряжений: ось сжатия  $\sigma_1$ : 295..305 – 310..320°, ось растяжения  $\sigma_3$ : 25..35 – 40..50°,  $\sigma_2$  – субвертикальна. Ось максимальных сжимающих напряжений ( $\sigma_1$ ) занимает положение биссектрисы острых углов  $2\theta = 58^\circ$  на пересечении сопряженных тектонополос северо-западных субширотных ориентировок: аз. пр. 265–275°, 280–290° и 320–330°, 340–350°, которые представлены сдвигами – комплементарными правыми синтетическими ( $R_1^*$ ,  $R_1$ ) и левыми антитетическими ( $R_2^*$ ,  $R_2$ ) сколами Риделя соответственно. При этом основная диагональная правая зона сдвигания ( $Y$ ) северо-восточного простирания, ориентированная по азимуту 240–250°, разделила углепородный массив осадочных отложений на центральную и периферийные зоны

(рис. 2). Усиление деформационного режима в центральной части региональной сдвиговой зоны, привело к уменьшению размеров деформируемых блоков и образованию локальной структурной прерывистости с эффектом правого вращения блоков осадочного чехла с образованием Z-образного преломления в изменении ориентировок основных нарушений в пределах центральной части сдвиговой зоны и ее периферийных граничных участков (рис. 2, б).

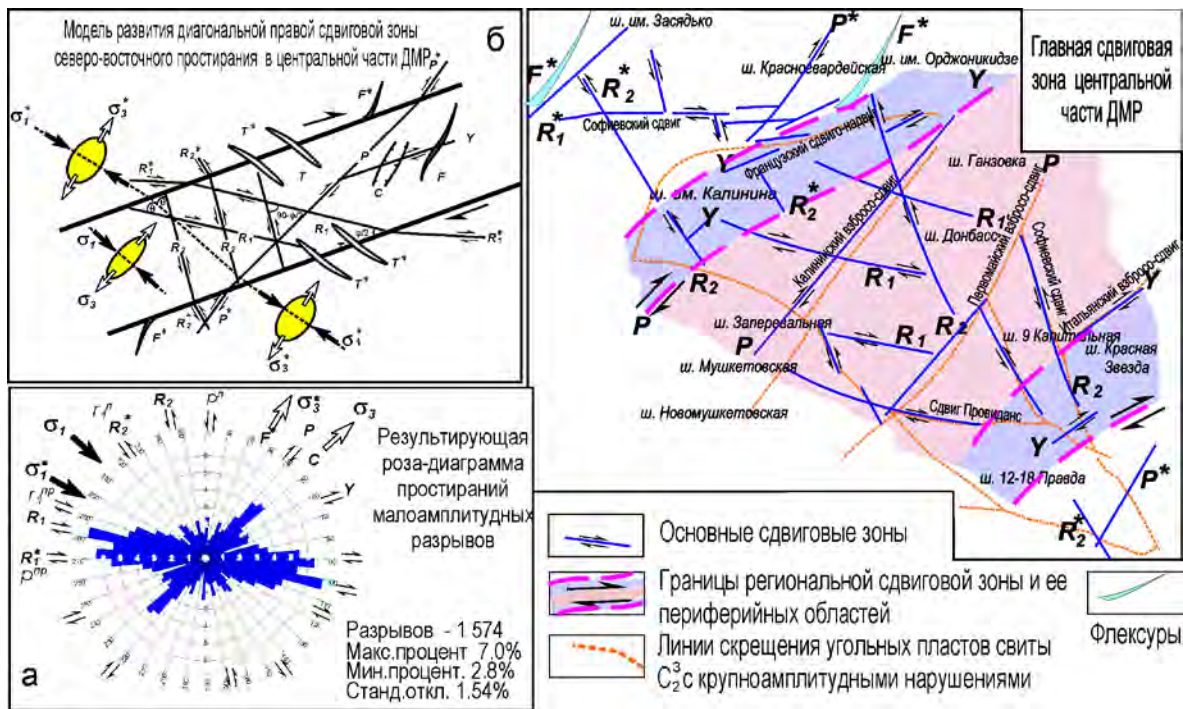


Рис. 2. Главная сдвиговая зона центральной части ДМР. На врезке *а* – интерпретация простираний малоамплитудных нарушений (синтетических, антитетических сдвигов, трещин растяжения, складок и надвигов) на суммарной розе-диаграмме; *б* – модель развития главной диагональной сдвиговой зоны [15]

Тектонические разрывы ориентировок 295..305–310..320° выражены системами трещин отрыва и сбросов ( $T^*$ ,  $T$ ), а нарушения ориентировок 25...35– 40...50° – складками и надвигами ( $F^*$ ,  $F - C^*$ ,  $C$ ).  $R_1$  – сколы доминируют в структурообразовании и формируют сегменты магистрального сместителя в контуре которого, структуры правого сдвига  $R_1^*$  занимают положение вто-



ричного синтетического сдвига  $p^{np}$ , наследуя направление смещения основного разрыва  $R_1$ .  $R_2^*$  – сколы занимают положение сколов  $r_1^n$  левосторонней кинематики. В процессе развития зоны сдвигов  $R_1$  и  $R_2$  получают дополнительное развитие в виде синтетических сдвигов  $p^n$  и  $r_1^{np}$ , которые наследуют направление движения основного разрыва, продуцируя развитие локальных самостоятельных сдвиговых зон в контуре правой и левой зон сдвига (рис. 2, а).

Подземные воды на описываемой территории приурочены к четвертичным, палеоген-неогеновым и каменноугольным отложениям. Основным водоносным комплексом являются средневерхнекаменноугольные отложения  $C_2^1$ - $C_3^1$ . Они развиты повсеместно и приурочены, в основном к трещиноватым песчаникам и известнякам. Коэффициент фильтрации известняков составляет в среднем 1,2 м/сут (максимально 3,36 м/сут), песчаников – изменяется от нескольких м/сут до 100 м/сут [9].

В зоне активного выветривания пород карбона, которая развита до глубины 30-70 м, разобщенных водоносных горизонтов нет. Всю эту зону можно считать одним горизонтом со свободной поверхностью. Ниже этой зоны песчаники и известняки разделены водоупорными сланцами и являются напорными трещиннопластового типа. Пьезометрический уровень подземных вод до затопления находился на абсолютной отметке +155 м. Питание комплекса атмосферное в местах выхода пород на поверхность. В той части района, где карбон покрыт кайнозойскими отложениями, водоносные горизонты угленосной толщи обеспечиваются постоянным источником питания покровных отложений, что обуславливает стабильность водопритоков в существующие ГВ. Немаловажную роль в формировании водопритоков играет овражно-балочная сеть (см. рис. 1).

Основные горные работы приходится на зону активного водообмена (до 500 м). В связи с неравномерным развитием трещиноватости, водообильность горизонтов карбона по глубине и площади различна. С глубиной она уменьшается в связи с затуханием открытой трещиноватости. По данным [6] водопритоки по шахтам варьируют в пределах 70 – 470 м<sup>3</sup>/ч. Донецко-Макеевский район обводнен весьма неравномерно, площадь пи-

тания водоносных горизонтов ограничена, в связи с чем ресурсы подземных вод невелики. Свиты среднего отдела карбона сложены чередующимися пластами песчаников, аргиллитов, алевролитов, известняков и углей. Терригенные породы составляют порядка 98 % всей толщи, содержание известняков – 0,1-5,0 %. Мощность известняков не превышает 2-3 м, иногда до 10 м, редко до 20 м. Следует учесть, что песчаники дают постоянные притоки, а известняки – кратковременные. Количество водоносных горизонтов в свите  $C_2^3$  достигает 11. При этом степень выдержанности и их мощность существенно различаются на различных участках. Водоносность пород карбона закономерно уменьшается с глубиной и затухает на глубинах 700-900 м. Исключением являются зоны тектонических нарушений, особенно флексуры (например, Чайкинская), где высокая водообильность прослеживается до глубины 1000-1300 м.

В таблице 2 отражены результаты геологических наблюдений за притоками воды на территории исследования при вскрытии зон дробления крупноамплитудных разрывов ГВ.

В настоящей работе для анализа динамики уровня затопления использованы данные наблюдений, проводимых ГП «Донуглереструктуризация» по сети наблюдательных скважин, расположенных на полях ликвидированных шахт. Частота замеров – 2 раза в месяц. В период интенсивного выпадения осадков – ежедневно. Нами обобщены восьмилетние наблюдения замеров уровня подземных вод за 2004 – 20011 гг. (таблица 3).

С целью корректности использовались фактические замеры за один и тот же временной период (1 год), выполненные в конце мая – июне 2004 – 20011 гг., в период слабого проявления инфильтрации атмосферных сезонных осадков и отключения насосных установок.

Результаты ранее проведенных исследований за период затопления 2003-2005 гг. [16] свидетельствуют о том, что вследствие затопления шахт уровень подземных вод на момент 04.2005 г. поднялся до абсолютной отметки:  $\min = -217,2$  м;  $\max = +196,4$  м. В центральной части исследуемого района абсолютная отметка уровня составляла  $-63,1$  м (поле ш. № 9 Капитальная).

Таблица 2

Вскрытие зон тектонических нарушений горными выработками

Тектоническое нарушение	Шахта	Пласт	Вскрывающая выработка	Абс. отм., м	Приток, м <sup>3</sup> /ч
1	2	3	4	5	6
Сброс «Провиданс»	№ 6 Красная звезда	$h_8$	Накл. вспом. кв-г 1 сев. укл.	-136,8 / -137,2	Капеж
Надвиг «Провиданс»	№ 6 Красная звезда	$h_8$	Накл. вент. кв-г 1 сев. укл.	-125,0 / -136,3	Капеж
Надвиг «Провиданс»	№ 6 Красная звезда	$h_8$	3 вост. бис вент. штр. и лава	-102,3	Вода из почвы
Оперение н-га «Провиданс»	№ 6 Красная звезда	$h_{10}$	1 южная лава	-98,0	До 5 (кратковременно)
Оперение н-га «Провиданс» (серия трещин)	№ 6 Красная звезда	$h_{10}$	10-бис северная лава	-90,0	До 5 (кратковременно)
Надвиг «Провиданс» (459 м –)	№ 12 Наклонная	$g_2$	Корен. отк. штр.	-142,0	100
Мушкетовский (висячее крыло)	№ 2	$h_3$	Вент. ход. и тр. уклон 1 юж. пан.	-180,6	Сухо
Мушкетовский	№ 12-18	$h_2$	Накл. кв-г с № 6 Капитальная	-5,0	Незнач. капеж
Апофиза Мушкетовского	№ 8 Наклонная	$g_2 - h_2$	Гор. кв-г с № 8 и № 2	-108,4	Сухо

На момент 2005 г., в основном, практически затоплены горные работы шахт по угольным пластам  $h_6$ ,  $h_7$ ,  $h_8$ , (поле шахты № 6 Красная Звезда);  $h_2^1$ ,  $h_3$ ,  $h_7$ , (поле ш. № 8 Капитальная); в стадии затопления находятся горные работы шахт № 12-18 (по пластам  $h_8$ ,  $h_7$ ), № 8 Наклонная, № 12 Наклонная, № 6, № 2, № 8 (соо-

ответственно по пластам  $h_3, g_2, h_4, h_2^1, h_2$ ). Фильтрационный поток направлен с ЮВ на СЗ и соответствует направлению регионального уклона. Скорость затопления в центральной северной части участка достигла 80 м/год за период 2003 – 2004 гг. и 90 м/год за период 2004 – 2005 гг. Система Провиданс не выполняла функцию гидрогеологического экрана и образованная вследствие ее развития зона интенсивной трещиноватости способствовала свободному перетеканию воды в нарушенном массиве. Значение градиента интенсивности затопления в этажно подработанном массиве обратнопропорционально скорости затопления. При затоплении шахт сформировался напорно-безнапорный режим фильтрации в затапливаемом массиве.

Таблица 3

Сведения о режимных наблюдениях по гидронаблюдательным скважинам на горных отводах ликвидируемых шахт участка исследований

Поле шахты	№ скв.	Абс. отм., м	Абс. отм. уровня воды в скв., м					
			2006	2007	2008	2009	2010	2011
Мушкетовская	ДМ 2230	170,2	- 176,2	-96,8	68,6	90,9	87,8	44,6
№ 9 Капитальная	773-т	181,1	8,3	14,3	19,7	20,3	44,1	45,4
№ 12 Наклонная	ДМ 92-т	203,1	- 217,0	- 218,4	- 218,6	- 199,9	- 112,2	-8,2
№ 12-18	ДМ 902-т	189,1	7,3	13,2	20,1	20,1	43,8	30,2
Западная № 2	Скип. Ств.	204,9	- 297,7	- 115,3	16,8	88,7	63,85	37,4
60 лет Сов. Украины	ВЗД-2	134		- 386,0	- 287,4	- 192,1	- 107,0	-7,1
Глубокая	Ств. ВПС	177,8		- 694,2	- 638,2	- 530,2	- 530,2	- 400,2

С учетом увеличения объемов затопляемых выработок в период с 2007 г за счет привлечения горных отводов в недалеком прошлом действующих шахт и существующих откачек, а так же сброса откаченной воды в отстойники, пруды-отстойники в балке Богодуховская и далее в р. Кальмиус бассейна Азовского моря, возникает необходимость произвести дополнительную оценку гидродинамики района исследований за 2005-2011 гг. не только в разрезе (рис. 3), но и по площади в результате обработки пьезометрических наблюдений и визуализации распределения уровня подземных вод в виде изолинии уровня затопления каменноугольных отложений (рис. 4, а– з).

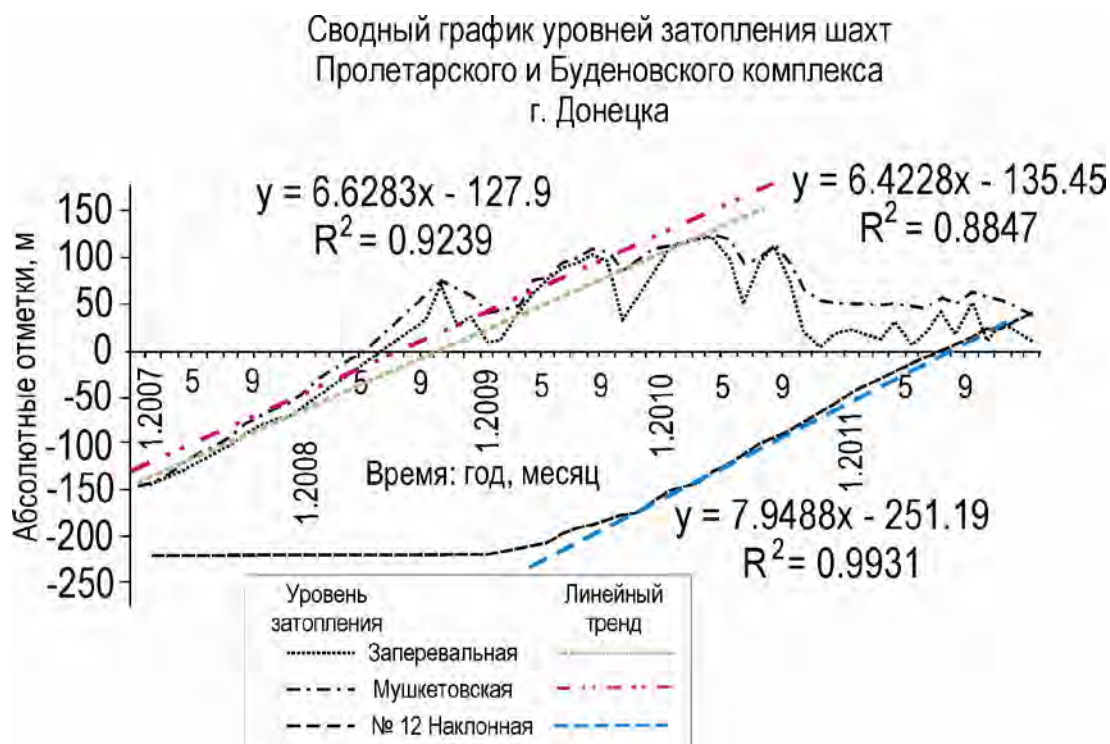


Рис. 3. Сводный график уровней затопления шахт по данным гидронаблюдательных скважин Пролетарского и Буденовского комплекса с детализацией их обработки линейным трендом в период отсутствия откачки

**Обсуждение результатов.** Анализ графиков режимных наблюдений (см. рис. 3) показал, что в процессе затопления горного массива четко прослеживаются два этапа: первый – характер-

ризуется монотонным синхронным повышением уровня подземных вод (в период с 01. 2007 до 07. 2010 гг. и с 05.2009 по 12.2011 гг) в контуре горных отводов шахт Мушкетовская, Запечевальная 1 и № 12 Наклонная соответственно.

Выявленная тенденция наилучшим образом аппроксимируется уравнениями положительного линейного тренда (см. рис. 3):

$$Y = at + v,$$

где:  $Y$  – уровни показателя, освобожденные от колебаний и выровненные по прямой;

$a$  – среднее изменение за единицу времени (скорость изменения), т. е. константа тренда;

$v$  – начальный уровень тренда в момент или за период, принятый за начало отсчета времени  $t$ .

Полученные нами линейные зависимости (см. рис. 3), высокие значения величины достоверности аппроксимации (0,9239, 0,8847, 0,9931) и близкие по значениям величины скорости изменения уровня (6,63, 6,42, 7,95 м/мес) указывают на то, что гидродинамические особенности первого этапа затопления обусловлены естественным режимом питания водоносных горизонтов и соответствуют процессу естественного восстановления уровня (установившийся режим водоповышения) в результате влияние основных режимообразующих факторов, одновременно действовавших в единицу времени (месяц, год) в пределах различных структурно-тектонических блоков (см. рис. 1).

Второй этап – этап техногенного режима поддержания уровня затопления в результате периодического искусственного водопонижения в режиме откачки погружными насосами и частичного перетока. Водоотбор во взаимодействии с естественными факторами образует своеобразный нарушенный ход колебаний пьезометрической поверхности подземных вод.

Анализ наблюдений за динамикой затопления каменноугольных отложений на разные периоды наблюдений (рис. 4) показал, что в период 2004–2005 гг. образованная в результате мероприятий контурного водопонижения во время эксплуатации угольных разрезов обширная депрессионная воронка выправ-

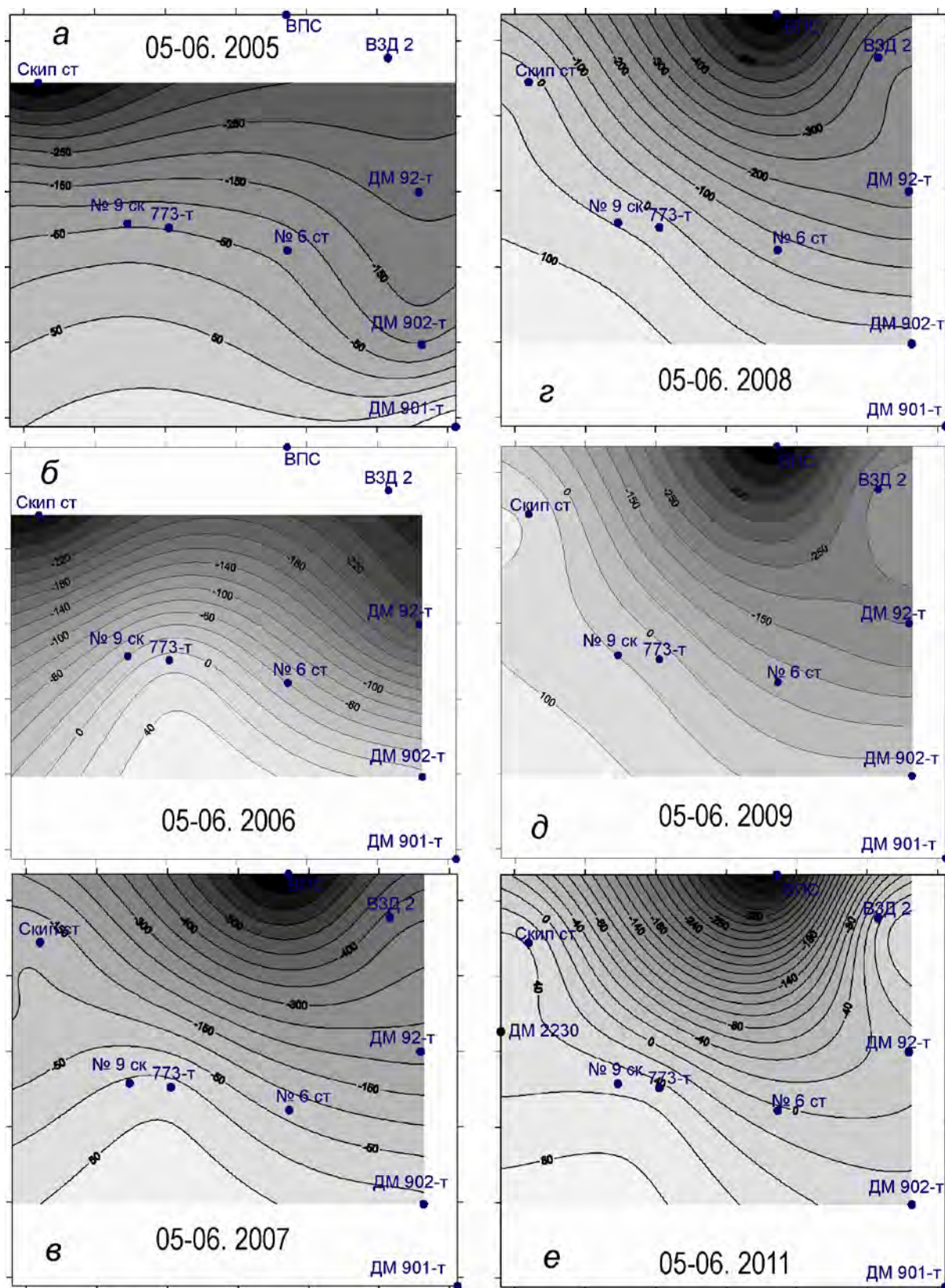


Рис. 4. Картограммы уровня затопления каменноугольных отложений на разные периоды наблюдений:  
● ДМ 901-т – гидронаблюдательные скважины

ляется (ликвидируется) и трансформируется в плоский поток с формированием двух локальных депрессий нерегулярного характера в зоне горных работ шахт: № 2 Кучерово, № 18, № 17, Ливенка № 1 и Ливенка-Заперевальная (1 депрессионная воронка), вторая – в районе шахты Чулковка. Повышение уровня между депрессионными мульдами приурочено к б. Обеточная. Направление фильтрационного потока с ЮВ на СЗ.

Впоследствии, к середине 2006 г. плоский поток трансформируется в расходящийся плоско-радиальный неустановившийся поток, при котором карта изопьез представляет собой семейство концентрических окружностей. В нашем случае форма изопьез приближена к эллипсу, вытянутому параллельно оси растяжения  $\sigma_3$ : 25..35 – 40..50° (см. рис. 2), что позволяет предположить о возможном влиянии тектонического поля напряжений сдвигового генезиса на формирование фильтрационного потока в условиях затопления угольных разрезов. Депрессионные понижения в рассматриваемый период сформировались в областях естественной разгрузки: в верховье б. Богодухова (поле ш. Заперевальная 1) и р. Грузская (поле шахты им. 60-летия Советской Украины). Подземный поток становится переменным, т. е. приобретает неустановившийся характер движения под действием различных естественных и искусственных факторов (неравномерная инфильтрация атмосферных осадков, откачка воды из скважины, сброс сточных вод на поля фильтрации). Движение совершается, большей частью, по направлению к долинам (по линиям депрессии) и не всегда совпадает с направлением уклона водоудерживающей породы. Зона максимального повышения уровня воды (+40 м), сопровождаемая уменьшением уклонов подземного потока, соответствует повышению рельефа земной поверхности до абсолютных отметок: +180–200 м и, по всей видимости, обусловлена постоянным подпором воды вследствие подъема дна (поля старых шахт: Серафима, № 36, № 37).

Динамика водонасыщения подработанного массива горных пород в 2007 г. характеризуется резким смещением максимума депрессии в область горных работ ш. Глубокая в связи с прекращением эксплуатационных работ и началом ликвидационных работ горнодобывающего предприятия – это начало формирования



новой обширной площади затопления, вызывающей интенсификацию процессов перетекания за счет изменения вертикального градиента напора с привлечением части ресурсов естественного подземного и поверхностного стока. Соответственно, изменяется направление потока: формируется два фронтально радиальных потока. Это вид потока, который поддерживается в пласте очень большой мощности (в нашем случае – пустоты ГВ), имеющем горизонтальную непроницаемую кровлю. В этих условиях воронки уже не имеют правильной концентрической формы, а вытянуты в направлении с ЮВ на СЗ. Ось мульды затопления соосна ориентации вектора главного нормального напряжения сжатия  $\sigma_1$ : 310..320°. По всей видимости, основную роль в формировании последней играют трещины растяжения ( $T$ ). Выявленная тенденция сохраняется и на картограммах изопьез до 2011 г.

Расчет годового повышения уровня и его визуализация на картограммах в виде изолиний (рис. 5) позволяет оценить распределение его расчетных количественных показателей по площади и конкретизировать динамику затопления по горным отводам. Максимальное повышение уровня за период 06.2007–06.2008 г. составило 165 м/год (ш. Мушкетовская). Шахты Мушкетовская и Заперевальная № 1 затапливаются единым бассейном с одинаковой скоростью (рис. 6). Учитывая, что уровень затопления в данный период соответствовал абс. отм. +75 м, абс. отм. поверхности – +170,2 м, то дренирование поверхностных вод по системе овражно-балочной сети б. Богодуховская оказало непосредственное влияние на повышение уровня затопления. Увеличение расстояния между изолиниями годового повышения уровня затопления в блоке, заключенном между Надвигом № 2 и Софиевским сдвиго-надвигом свидетельствует об уменьшении скорости затопления, что отразилось на картограмме распределения скоростей (рис. 6).

По всей вероятности, выявленная особенность гидрогеологического режима затопления обусловлена влиянием структурно-тектонических факторов, т.е. связана с зонами трещиноватости разрывов, вследствие резкой изменчивости водопроницаемости и пористости пород на небольших расстояниях и разнонаправленным движением блоков вдоль сместителей.

В отличие от Первомайского сдвиго-надвига (вторичного синтетического правого  $P$ -сдвига), вышеозначенные тектонические структуры – левые антитетические сдвиги  $R_2$  с противоположным направлением движения вдоль сместителя представляют собой зону рассредоточенной фильтрации.

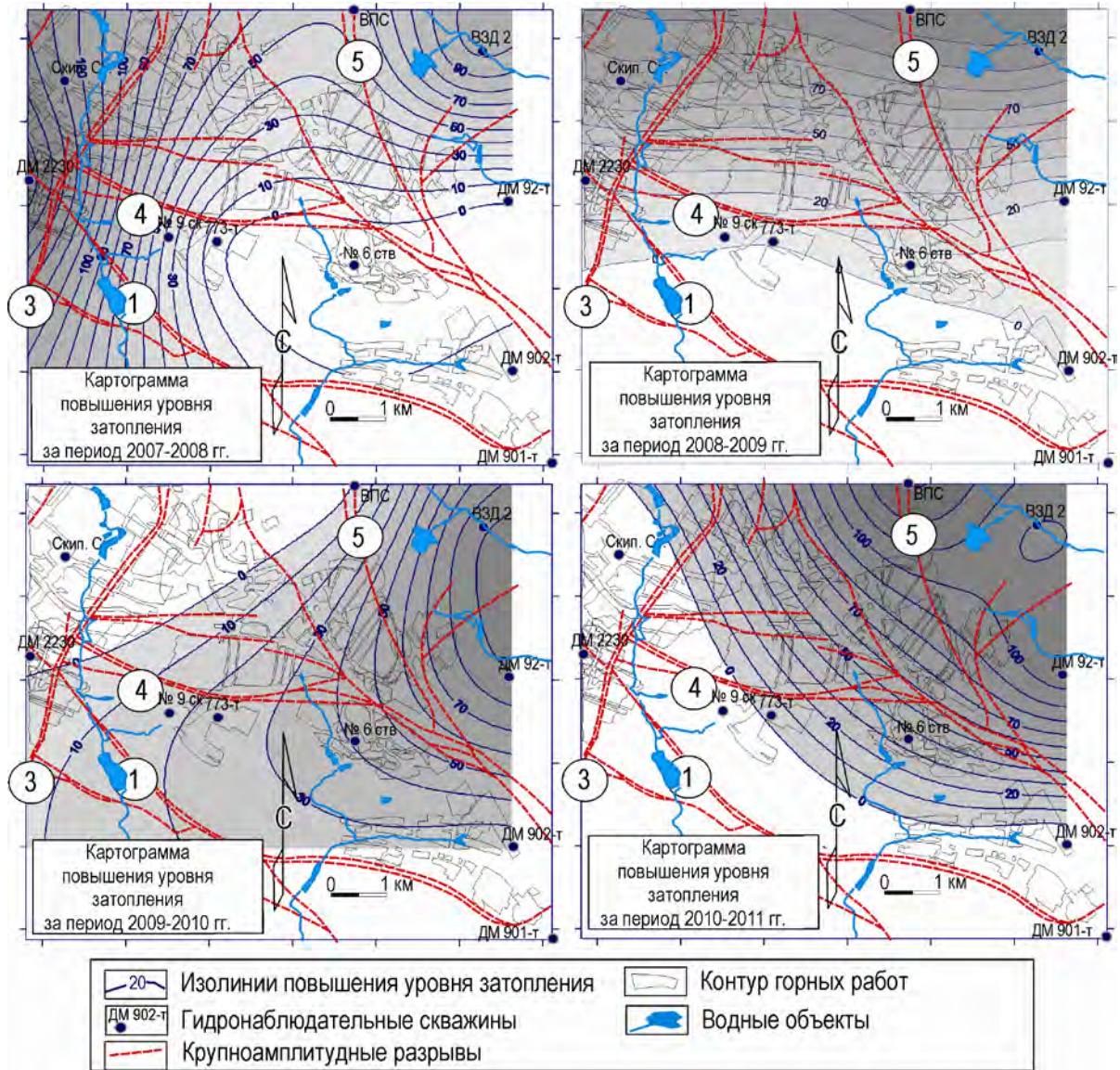


Рис. 5. Картограммы приращения уровня затопления каменноугольных отложений за 12 месяцев между периодами натуральных пьезометрических наблюдений

В работе [17] при определении влияния неоднородностей структурно-тектонических элементов на гидродинамические параметры рекомендуется учитывать ориентировку зон по отноше-

нию к фильтрационному потоку. Когда тектонические разрывы занимают положение, нормальное к направлению распространения потока, они играют роль естественных экранов, смягчая или даже гася его силу. При расположении же тектонических разрывов параллельно фильтрационному потоку, создаются условия, способствующие увеличению его скорости и напора.

Поскольку направление фильтрационного потока практически перпендикулярно к простиранию сдвигов  $R_2$  (см. рис. 2, рис. 4) и соответствует направлению основной зоны сдвигания, то в период формирования радиальных потока СВ направления, Надвиг № 2 и Софиевский сдвиго-надвиг выступили в роли естественных экранов.

С течением времени характеристика водопроницаемости вдоль плоскостей тектонических нарушений существенно изменилась. Водонасыщение трещиноватых зон превратило их в пути сосредоточенной фильтрации (2009 – 2011 гг), а скорость затопления в тектоническом блоке увеличилась – в особенности в местах их сопряжения или пересечения друг другом (рис. 6) – сопряжение Мушкетовского, Итальянского, Софиевского разрывов. Исходя из вышеизложенного, тектоническая составляющая полей напряжений в массиве горных пород управляет гидрологическими режимами, в т.ч. при затоплении угольных разрезов.

Выявленные нами в результате исследований особенности динамики затопления демонстрируют, что тектонический контроль длительной «горизонтальной» эволюции Кальмиус-Торецкой котловины определяет черты этапов затопления законсервированных шахт и современную гидрологию района. Выводы о влиянии тектонической истории и структурно-тектонического комплекса компрессии и экстенсии в условиях сдвиговых деформаций и вращения отдельных тектонических блоков на подземный водный поток в частности и собственно на гидродинамические процессы отражены в работах зарубежных исследователей [18, 19], но не нашли отражения в современных отечественных научных разработках.

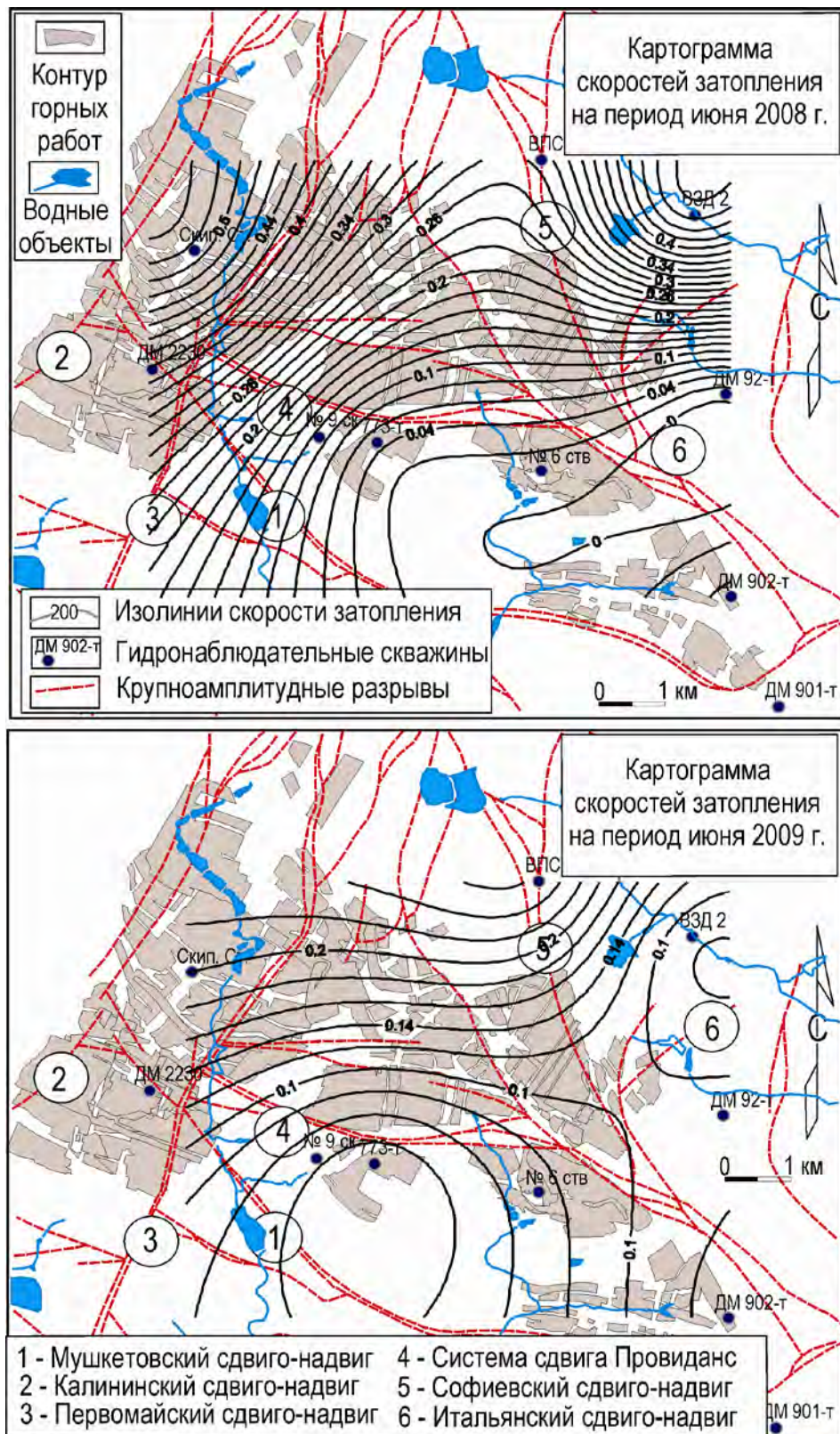


Рис. 6. Результаты визуализации распределения скоростей затопления территории ликвидированных шахт на разные периоды наблюдений

Оценка взаимосвязи между геоструктурными и гидрогеологическими особенностями специфических областей затопления возможна при учете морфометрических характеристик исследуемой территории, поскольку вода и тектоника управляют современными геоморфологическими рельефообразующими процессами.

С целью выявления влияния структурно-тектонических факторов на формирование специфических гидродинамических условий затопления, нами был проведен морфометрический анализ рельефа земной поверхности в результате применения процедуры тренд-анализа (рис. 7), учитывая, что форма любой неразмытой стратиграфической поверхности отражает историю ее образования. По сути, это поле распределения параметра высоты, содержащее целый спектр элементов различного порядка и генезиса. Проблема анализа заключается в том, что тренд маскирует структуру моделируемого явления, в связи, с чем требуется инструмент фильтрации, позволяющий оставить для визуализации составляющие, которые показывают явления одного порядка, с большей степенью вероятности связанные единым происхождением. Таким фильтром может являться разделение скалярного поля высот на аппроксимирующую поверхность – тренд  $R(x,y)$  – тренд, сглаженная функция и поверхность остатка  $L(x,y)$  – стационарная случайная функция.

Поверхность  $R(x,y)$  отражает морфоструктурный план формирования рельефа под влиянием основных тектонических сил. Учитывая, что поверхность  $L(x,y)$  отражает, главным образом, неотектонические и эрозионные процессы, контрастно проявляющиеся в пределах тектонических нарушений, необходимость ее построения в настоящей работе отсутствует. Поверхность тренда подбиралась с использованием полиномиальной регрессии, а коэффициенты уравнения определялись в результате решения систем уравнений по методу наименьших квадратов. Представление рельефа земной поверхности в виде скалярного поля высот, заданного массивами плановых и высотных координат точек  $z(x,y)$ , и его анализ с помощью методов математической статистики показали, что полином шестого порядка определяет наилучшее сочетание наблюдаемых данных и аппроксимации.

Анализ поверхности тренда (рис. 7) показал, что возвышенности рельефа формируют две ортогональные системы (аз. пр.  $315^\circ$  и  $45^\circ$ ), которые азимутально соосны ориентации векторов главных нормальных напряжений (сжатия  $\sigma_1$  и растяжения  $\sigma_3$ ).

Валообразную возвышенность СЗ ориентировки на понижениях рельефа контролируют с З-СЗ и Ю-ЮВ Мушкетовский и Софиевский разрывы соответственно. Языкообразная форма возвышенности сформировалась между Первомайским и Калининским сдвиго-надвигами (понижения рельефа тренда).

В области Итальянского разрыва сформировались локальные отрицательные аномалии (понижения рельефа тренда) характерной концентрической формы. Наблюдается четкая геоморфологическая выраженность сдвиговой зоны [14], которая обусловлена объемным характером возникающих внутри нее деформаций при наличии свободной дневной поверхности в направлении к которой эти деформации распространяются наиболее легко. Например, валообразные вздутия поверхности были получены в экспериментах В. Таннера, обусловленные выжиманием наименее вязкого материала, и отмечены над зонами концентрических разломов сдвигового типа [20]. Причиной вздутия поверхности в пределах между Первомайским и Калининским сдвиго-надвигами может являться дилатация, связанная с существенным разрушением материала, заключенного в объеме между вторичными синтетическими сдвигами  $P$ . В поверхностных условиях дилатация сопровождается образованием линейных отрицательных форм рельефа (б. Богодуховская, б. Грузская), связанных с наблюдаемым раскрытием диагональных сдвигов Риделя, когда движение крыльев происходит в обстановке дополнительного растяжения (простираение разрывов отклоняется по направлению увеличения угла с главным нормальным напряжением растяжения) [21].

Несмотря на отсутствие в настоящее время однозначного научного объяснения механизма воздействия сдвиговых полей напряжений на формирование потока подземных вод, совмещение картограмм изопьез на период 2010 и 2011 гг. с поверхностью тренда исследуемой территории, позволило выявить контрастное плановое обратное соответствие между изолиниями ап-

проксимированной поверхности рельефа и изопьез (рис. 7). Обратному соответствию отвечает соотношение рельефного повышения и уровневого понижения – структурные поверхности, образованные под воздействием одних и тех же факторов. По всей видимости, проявляется унаследованное развитие рельефообразующих и гидродинамических процессов территории затопления угольных разрезов.

В заключении важно отметить, что водные горизонты в осадочном чехле расположены на водоупорах, которые сложены глинами, суглинками и уплотнёнными карбонатными породами (известняки). Анализ гидрогеологической информации показал, что длинная ось эллипсообразной воронки затопления 2009 - 2011 гг. соосна простиранию наклонно залегающего регионального водоупора (рис. 7).

Авторы статьи признательны ведущему геологу Донецкой ИДЛШ ГП «Донуглереструктуризация» В. С. Завертайло за предоставленные материалы натурных наблюдений.

**Выводы.** 1. В процессе затопления подработанного массива четко прослеживаются два этапа: первый – соответствуют процессу естественного восстановления уровня подземных вод и описывается линейной функцией, второй – этап техногенного режима поддержания уровня затопления в результате периодического искусственного водопонижения для которого характерно обратное соответствие между изолиниями аппроксимированной поверхности рельефа (уравнение тренда 6 степени) и пьезометрической поверхности.

2. В период до 2006 г. образованная в результате мероприятий контурного водопонижения во время эксплуатации угольных разрезов обширная депрессионная воронка выправляется и трансформируется в плоский поток с формированием двух локальных депрессий нерегулярного характера с направлением фильтрационного потока с ЮВ на СЗ. Затем плоский поток трансформируется в расходящийся плоско-радиальный неустановившийся при котором карта изопьез представляет собой семейство эллипсовидных окружностей, вытянутых параллельно оси растяжения  $\sigma_3$ : 25..35 – 40..50°, что позволяет предположить о возможном влиянии тектонического поля напряжений сдвигового

генезиса на формирование фильтрационного потока в условиях затопления угольных разрезов.

3. Вывод из эксплуатации ш. Глубокая – начало формирования новой обширной площади затопления, вызывающей интенсификацию процессов перетекания за счет изменения вертикального градиента напора с привлечением части ресурсов естественного подземного и поверхностного стока, характеризуется изменением направления потока и его трансформацией в два фронтально радиальных потока. В этих условиях воронка вытянута в направлении с ЮВ на СЗ. Ось мульды затопления соосна ориентации вектора главного нормального напряжения сжатия  $\sigma_1$ : 310..320°. По всей видимости, основную роль в формировании последней играют трещины растяжения.

4. Левые антитетические сдвиги  $R_2$  на начальном этапе введения в зону затопления ш. Глубокая представляют собой зону рассредоточенной фильтрации.

5. Выявленные нами в результате исследований особенности динамики затопления демонстрируют, что тектонический контроль длительной «горизонтальной» эволюции Кальмиус-Торецкой котловины определяет черты этапов затопления консервированных шахт и современную гидрологию района.

6. Длинная ось эллипсообразной воронки затопления 2009-2011 гг соосна простиранию наклонно залегающего регионально-го водоупора.

7. Проведенные исследования позволили приблизиться к пониманию природы и механизма воздействия сдвиговых полей напряжений на гидродинамику осадочных систем в условиях «мокрой» консервации подработанного массива горных пород.

## СПИСОК ССЫЛОК

1. О необходимости переликвидации горных выработок старых и закрытых шахт [Электронный ресурс] / ТОВ "SNT Украина" – Режим доступа : <http://www.snt.com.ru/o-neobhodimosti-pereklikvidacii-gornyh-vyrobotok-staryh-i-zakrytyh-shaht>.
2. Ягунова О.А. Исследование гидро-, газо-, геомеханических процессов в техногенном массиве и выработанном простран-



- стве ликвидируемых шахт Кузбасса : автореф. дис. на соискание наук. степени канд. тех. наук : спец. 25.00.20 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика» / О.А. Ягунова. – Кемерово, 2010. – 20 с.
3. Предварительная оценка эколого-геологического риска затопления шахт Горловской горно-городской агломерации / Э. Госк, В.А. Сляднев, Н.А. Юркова, Е.А. Яковлев // Экотехнологии и ресурсосбережение, 2004. – № 3. – С. 60-65.
  4. Гидрогеология СССР: в 34 т. / НИИ ВСЕГИНГЕО.– М.: Недра, 1971.– Т. VI: Донбасс. – 480 с.
  5. Сведения о фильтрационных и коллекторских свойствах водоносных пород Донбасса и притоках воды из них : отчет о НИР (закл.) / Фонды ПО «Укруглегеология, рук. Куш О.А.– Донецьк, 1984. – 110 с.
  6. Сведения о фактических притоках воды из водоносных горизонтов в горные выработки шахт : отчет о НИР (закл.) / Фонды ПО «Укруглегеология.– Донецьк, 1976. – 162 с.
  7. Черникова С.А. Прогноз водоподъема в закрывающихся шахтах на основе материалов гидромониторинга восточного Донбасса / С.А. Черникова // Маркшейдерия и недропользование, – М.: Горный университет, 2003. – № 1. – С. 27 – 29.
  8. Удалов И.В. Мокрая консервация шахт как источник влияния на качество подземных вод Луганской области / И.В Удалов. // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна”, серія „Геологія. – Географія. – Екологія”, 2008. – № 82/4. – С. 245 – 249.
  9. Гидрогеология СССР : сводный том в пяти выпусках. / [Л.С. Язвин, Б.В. Боровский и др.]; под ред. Л.С. Язвина // НИИ ВСЕГИНГЕО.– М.: Недра, 1977. – Вып. 3: Ресурсы подземных вод СССР и перспективы их использования. – 279 с.
  10. Питаленко Е.И. Время затопления шахт: прогноз и факт / Е.И. Питаленко, П.Г. Артеменко, С.В. Педченко, А.Б. Ягмур // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – Донецьк: УкрНДМІ НАНУ, 2007. – № 1 – С. 165 – 172.
  11. Привалов В.А. О прогнозе тектоногазодинамической обстановки угольного пласта / В.А. Привалов // Изв. высш. уч. зав.: Геология и разведка. – 1985. – № 11. – С. 49 – 55.

12. Привалов В.А. Закономерности развития малоамплитудной тектонической нарушенности угольных пластов и ее прогнозирование (на примере Донецко-Макеевского района Донбасса) : автореф. дис. на соискание наук. степени канд. геол.-мин. наук : спец. 04.00.16 «Геология твердых горючих ископаемых» / В.А. Привалов. – Ленинград, 1987. – 23 с.
13. Дьяченко Н. А. Структуры Риделя в сдвиговой тектонике Донецкого и Львовско-Волынского каменноугольных бассейнов / Н.А. Дьяченко, В.А. Привалов // Геология і геохімія горючих копалин. – 2008. – № 4. – С. 21 – 36.
14. Дьяченко Н. О. Вплив зсувної тектоніки на деформації земної поверхні при підземній розробці вугільних родовищ : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. геол. наук : спец. 04.00.16 „Геологія твердих горючих копалин” / Н.О. Дьяченко. – Дніпропетровськ, 2011. – 20 с.
15. Дьяченко Н. А. Региональная правосдвиговая зона в угленосной толще центральной части юго-восточного крыла Кальмиус-Торецкой котловины / Н.А. Дьяченко // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – Донецьк: УкрНДМІ НАНУ, 2010. – № 6 – С. 26 – 49.
16. Квашук О. Ю. Динамика водонасыщения подработанного массива территории ликвидированных шахт города Донецка / О. Ю. Квашук, Н. А. Дьяченко // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2006. – Вып. 65.– С. 80 – 89.
17. Методика составления моделей водопроницаемости скальных массивов в основаниях гидротехнических сооружений: [пособие к СНиП 2.02.02-85] / ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. – Санкт-Петербург: ВНИИГ, 1992. – 98 с.
18. Taylor R.G. The influence of tectonic setting on the hydrological characteristics of deeply weathered terrains: evidence from Uganda / R.G. Taylor, K.W.F. Howard // Journal of Hydrology, 1999. – № 218. – P. 44 – 71.
19. Tadolini T. The influence of geostructural setting upon water thermomineralization in certain areas of Apulia (southern Italy) / T. Tadolini, G. Bruno // Hydrogeological Processes in Karst Terranes (Proceedings of the Antalya Symposium and Field Seminar,

- October 1990). – IAHNS Publ. – № 207. – 1993. – P. 75 – 83.
20. Крапивнер Р.Б. Бескорневые неотектонические структуры: [монография] / Р.Б. Крапивнер. – М.: Недра, 1986. – 204 с.
21. Буртман В.С. Горизонтальные перемещения по разломам и некоторые методы их изучения. / В.С. Буртман, А.В. Лукьянов, А.В. Пейве, С.В. Руженцев // Труды ГИН АН СССР, 1963. – Вып. 80. – С. 5 – 33.