

Н. М. ТУРИЙ, П. П. ЯВИД

## НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БЕЛОРУССКОЙ АНТЕКЛИЗЫ

В геологоструктурном отношении район исследований (Борисов — Вилейка — Поставы) относится к северной присклоновой части Белорусской антеклизы, являющейся структурой второго порядка Восточно-Европейской платформы, на сочленении ее с Латвийским прогибом и западной склоновой частью Оршанской впадины. Более подробное обоснование выбора геологического участка для закладки геодинамического полигона изложено в работе [1].

По физико-географическим условиям геодинамический полигон расположен в зоне Минской возвышенности (юго-восточная часть) и в пределах Нарочанско-Вилейской низины (северо-западная часть). Рельеф района исследований холмисто-моренный. Мощность четвертичных отложений в границах полигона колеблется в пределах 100 м.

Коренные породы на профиле полигона Вилейка — Поставы — серые мелкозернистые доломиты и пестроцветные мергелистые глины наровского горизонта среднего девона.

Средняя мощность отложений 45 м. Кристаллический фундамент района погружается ступенчато по разрывным нарушениям на север и в районе Постав залегает на глубине 600 м. На профиле полигона Борисов — Вилейка коренные породы представлены глауконито-кварцевыми песками и песчаниками с включениями кремния сеноманского яруса верхнего мела. Мощность их достигает 50 м.

В геофизическом отношении линии профилей полигона пересекают полосы гравитационных и магнитных аномалий северо-восточного простирания, выделенных в результате районирования гравимагнитных полей Белорусской антеклизы [2,3]. Проведение полевых опытно-методических гравимагнитных работ и повторного точного нивелирования на геодинамическом полигоне преследовало основную цель — изучение закономерностей пространственного распределения и временного изменения современных вертикальных движений и связи этих движений с геофизическими полями и глубинным строением. Нивелирование выполнено три раза (сентябрь — октябрь 1976, май — июнь 1977, сентябрь — октябрь 1977).

В общем виде значение скорости вертикальных движений определяется известной формулой:

$$v = \frac{h_2 - h_1}{t},$$

где  $h_1$  — превышение между двумя точками из первого нивелирования;  $h_2$  — то же превышение из второго нивелирования;  $t$  — промежуток времени между двумя нивелировками в годах.

Для определения точности полученных скоростей применяется формула

$$m_v = \sqrt{\frac{m_1^2 + m_2^2}{t^2}}$$

где  $m_1$  — среднеквадратическая погрешность превышения  $h_1$ ;  $m_2$  — среднеквадратическая погрешность превышения  $h_2$ .

Значения среднеквадратических погрешностей измерения на 1 км нивелирного хода приведены в табл. 1.

Таблица 1  
Значение погрешностей для нивелировок, мм/км

Наименование ходов	I		II		III		IV		V	
	$\sigma$	$\eta$								
Борисов—Плещеницы	0,20	0,40	0,20	0,43	0,25	0,53	0,07	0,42	0,67	0,12
Плещеницы—Вилейка	0,31	0,57	0,14	0,42	0,30	0,52	0,17	0,31	0,51	0,16
Вилейка—Мядель	0,39	0,86	0,14	0,32	0,14	0,36	0,14	0,23	0,44	0,16
Мядель—Поставы	0,14	0,59	0,11	0,25	0,16	0,25	0,07	0,26	0,58	0,29
Княжин—Мядель	0,15	0,53	0,20	0,34	0,16	0,46	0,20	0,41	0,68	0,28
Плещеницы—Княжино	0,12	0,45	0,14	0,29	0,06	0,36	0,12	0,25	0,68	0,19
Борисов—Плещеницы— Вилейка	0,26	0,48	0,17	0,42	0,28	0,52	0,13	0,37	—	—
Борисов—Плещеницы—Кня- жино—Мядель	0,16	0,69	0,18	0,37	0,18	0,47	0,12	0,39	—	—
Вилейка—Мядель—Поставы	0,28	0,72	0,13	0,29	0,16	0,31	0,11	0,25	—	—
Борисов—Вилейка—Поставы	0,27	0,60	0,15	0,37	0,23	0,44	0,12	0,32	—	—

При частых повторных нивелировках для изучения современных вертикальных движений в небольших районах обычно вычисляют не скорости движений за год, а разности превышений между последующей и предыдущей нивелировками ( $\Delta h_{n+1-n}$ ). Это будет величина вертикального смещения одного репера относительно другого за период времени между измерениями. Последовательное суммирование выявленных изменений превышений ( $\Sigma \Delta h_{n+1-n}$ ) между смежными реперами позволяет судить о характере вертикальных смещений земной поверхности по профилю.

Для удобства вычислений, а также для получения сравнительного материала был выбран исходный пункт начала подсчета суммы превышений, т. е. величины смещений между реперами (репер 4436, Борисов, нивелировки 1 класса).

Исходный репер участвует в современных вертикальных движениях, однако его абсолютное смещение не сказывается на характере кривых смещений по профилю, а лишь изменяет величину их общего фона.

Величины вертикальных смещений реперов сопровождаются погрешностью, связанной с любой парой сравниваемых нивелировок. Это так называемая погрешность величины вертикального смещения того или иного репера:

$$m_{\Delta h_{n+1-n}} = \pm \varphi_{n+1-n} \sqrt{L},$$

где  $L$  — длина профиля, км;  $\varphi_{n+1-n}$  — суммарная средняя квадратическая погрешность последующего и предыдущего повторного нивелирования, вычисляемая по формуле

$$\varphi_{n+1-n} = \pm \sqrt{\varphi_n^2 + \varphi_{n+1}^2}$$

где  $\varphi_n$  и  $\varphi_{n+1}$  — средние квадратические случайные погрешности соответственно предыдущего и последующего нивелирования.

Полученные погрешности величин вертикального смещения между сопоставляемыми повторными нивелировками являются допустимыми в конце обеих профилей (табл. 2). В середине профилей они, естественно, меньше.

Таблица 2

Погрешности величин вертикального смещения  
земной поверхности

Погрешность смещения, мм	Вертикальные смещения между нивелировками					
	$\Delta h_{II-I}$	$\Delta h_{III-I}$	$\Delta h_{III-II}$	$\Delta h_{II-I}$	$\Delta h_{III-I}$	$\Delta h_{III-II}$
	Борисов—Вилейка			Вилейка—Поставы		
$m\Delta h_{II-I}$	7,13			8,0		
$m\Delta h_{III-I}$		8,05			7,4	
$m\Delta h_{III-II}$			7,04			7,4

Из данных повторного нивелирования вытекает, что на фоне общего поднятия восточной части Белорусской антеклизы и ее склонов происходят также дифференцированно-блоковые движения земной коры [4,5]. Несмотря на небольшой промежуток времени между закладкой реперов и тремя нивелировками в целом на трассах повторного нивелирования геодинамического полигона выделяются участки с одинаковым характером и тенденцией движения реперов. Ввиду того, что на стыке таких отрезков скорость вертикальных смещений обычно резко меняется, можно предположить, что выделенные отрезки приурочены к блокам кристаллического фундамента, движущимся с различной скоростью, а границы их, приуроченные к разломам или другим ослабленным зонам земной коры, совпадают с тектоническими нарушениями в кристаллическом фундаменте.

Тектонические нарушения широтного простирания (профиль Вилейка — Поставы) выделены Г. Г. Доминиковским [6] и охарактеризованы им как предполагаемые послескладчатые разрывные нарушения, сопровождаемые интенсивными проявлениями интрузивной и гидротермальной деятельности.

Все три значения скорости вертикальных смещений  $\Delta h_{II-I}$ ,  $\Delta h_{III-I}$ ,  $\Delta h_{III-II}$  на профиле Борисов — Вилейка вычислены относительно исходного репера 4436 (Борисов).

Начиная от этого репера до репера 435 (д. Фильяново) вертикальные смещения носят плавный характер, за исключением отрезка между реперами 830 и 8686, где кривые  $\Delta h_{III-I}$  и  $\Delta h_{III-II}$  зеркально отображают  $\Delta h_{II-I}$ . Последующее резкое смещение относится к реперу 252 (кривая  $\Delta h_{III-I}$ ), где оно достигает —36,8 мм. На сравнительно узком отрезке профиля (12 км), от репера 430 до репера 006, кривые  $\Delta h_{II-I}$  и  $\Delta h_{III-II}$  резко изменяются от —9,6 до —34 мм.

Следующей зоной резкого смещения реперов по кривым  $\Delta h_{II-I}$  и  $\Delta h_{III-II}$  является отрезок трассы между реперами 9215 и 6089, где смещения изменяются от +17,9 до 30 мм ( $\Delta h_{II-I}$ ) и от —36,7 до —47,4 мм ( $\Delta h_{III-II}$ ).

Таким образом, по профилю Борисов — Вилейка выделяются блок-антиклинальные и блок-синклинальные структурные формы кристаллического фундамента: Борисовско-Зембинский, Клецко-Смолевичский, Столбцовско-Плещицкий, Ивенецко-Новоселковский, Кореличско-Молодеченский и Дятловско-Вилейский.

На профиле Вилейка — Поставы вертикальные смещения  $\Delta h_{II-I}$ ,  $\Delta h_{III-I}$ ,  $\Delta h_{III-II}$  вычислены относительно исходного фундаментального репера 2351 (г. Вилейка). По всему профилю кривые  $\Delta h_{II-I}$  и  $\Delta h_{III-I}$  повторяют друг друга, что особенно характерно для зон разломов, где они четко отбивают их. На участке в 15 км между реперами 5968 и 6673 значение  $\Delta h_{II-I}$  изменяется от +11,9 до -14,4 мм, а для  $\Delta h_{III-I}$  от +4,2 до -25,3 мм. К приведенному интервалу приурочены зоны глубинных разломов.

По профилю выделяется блок-антиклинали и блок-синклинали кристаллического фундамента: Дятловско-Вилейский, Ивьевско-Сморгонский, Нарочано-Мядельский.

На приведенных двух разрезах блоки кристаллического фундамента разделяются между собой граничными субрегиональными разломами с различной глубинностью и протяженностью. Сопоставление геодезических и геолого-геофизических данных показывает, что участки с резким «пикообразным» смещением реперов располагаются в зонах разломов, выделенных по геолого-геофизическим данным. Раньше аналогичные «пикообразные» минимумы отдельных реперов принимались за их неустойчивость или ошибки нивелирования. Анализ большого фактического геофизико-геодезического материала привел нас к выводу о характерной приуроченности резких «пикообразных» минимумов к зонам разломов различного типа и порядка.

Для выявления изменения гравитационного поля на реперах точного нивелирования проводятся высокоточные гравимагнитные наблюдения с точностью  $\pm 0,05$  мгл и  $\pm 7$  гамм. Аномалии магнитного поля отображают внутреннюю структуру докембрийского основания, древнейшие глубинные разломы, локализованные изометрической формы тела основных пород. Аномалии силы тяжести более тесно связаны с глубинным строением и отражают в более обобщенном виде изменение плотности пород, слагающих определенные структуры верхней части кристаллического фундамента (до глубины 10—15 км) земной коры.

Регрессионный анализ связей между современными вертикальными движениями и гравимагнитными полями проводился для двух профилей по программе [7] последовательного регрессионного анализа с выбором существенных факторов. Эта программа выполняет анализ шаговой множественной регрессии для зависимой переменной  $\Delta h_{II-I}$  и множества независимых переменных на каждом шаге регрессии  $i=1, 2, 3, \dots, m$ , где  $m$  — число независимых переменных.

В результате анализа получены оценки коэффициентов уравнения регрессии, значения парных коэффициентов корреляции (табл. 3). Для профиля Вилейка — Поставы уравнение регрессии получено в следующем виде:

$$\Delta h_{II-I} = -1,346x_5 + 0,006x_4 + 0,209x_2 + 0,063x_6 - 0,013x_3 - 28,48.$$

Из приведенного регрессионного анализа для данных по профилю Вилейка — Поставы следует, что те комплексы пород кристаллического фундамента, которые дифференцируются гравитационным полем, статистически связаны с вертикальными движениями земной коры ( $\Delta h_{II-I}$ ). Значимость этой связи составляет 39,7%. Следующей по значимости величиной является аномальное магнитное поле. Дополнительная статистическая связь комплексов пород, дифференцируемых аномальным магнитным полем и участвующих в вертикальных движениях, характеризуется значимостью 2,5%.

Для профиля Борисов — Вилейка уравнение регрессии имеет вид

$$\Delta h_{II-I} = -0,13x_6 - 0,213x_3 + 0,114x_2 - 0,101x_5 + 0,001x_4 - 7,548.$$

Уравнения регрессии позволяют определить значение зависимой переменной  $\Delta h_{II-I}$  в любой точке профиля.

Для данного профиля наибольшую значимость в вертикальные движения земной коры  $\Delta h_{II-I}$  вносит рельеф дневной поверхности ( $H_p$ ), который характеризуется величиной статистической связи 42%; последняя в обоих случаях определялась коэффициентом множественной корреляции. Столь высокая значимость этой связи для разреза Борисов — Вилейка вызвана, очевидно, большими перепадами высот рельефа дневной поверхности (155,86—279,9 м): на разрезе Вилейка — Поставы эти перепады менее резки: 216,7—141,94 м.

Корреляционное поле между величинами  $\Delta h_{II-I}$  и  $\Delta h_{III-I}$  для обоих профилей отражает графически достаточно хорошую связь, в то время как статистическая связь оказалась ниже.

Таблица 3

Коэффициенты парной корреляции

Коррелируемые величины	$\Delta h_{II-I}$	$\Delta h_{III-I} (x_2)$	$\Delta h_{III-II} (x_3)$	$Z_a (x_4)$	$\Delta q (x_5)$	$H_p (x_6)$
$\Delta h_{II-I}$	1	0,481	-0,102	0,48	-0,548	-0,318
$\Delta h_{III-I} (x_2)$	0,481	1	0,0485	0,486	-0,333	-0,792
$\Delta h_{III-II} (x_3)$	-0,102	0,0485	1	0,0648	0,288	-0,0624
$Z_a (x_4)$	0,48	0,486	0,0648	1	-0,323	-0,289
$\Delta q (x_5)$	-0,548	-0,33	0,288	-0,323	1	0,692
$H_p (x_6)$	-0,318	-0,0792	-0,0624	-0,289	0,692	1

Данные эксперимента позволили установить наличие современных вертикальных движений земной коры ( $\Delta h_{II-I}$ ,  $\Delta h_{III-I}$ ) по рассматриваемым профилям на Белорусской антеклизе и их прямую связь с  $Z_a$  и обратную с  $\Delta q$  и  $H_p$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Турий Н. М.— В кн.: Вопросы геологии, геохимии и геофизики земной коры Белоруссии.— Минск, 1975, с. 86.
2. Михненко М. И., Данкевич И. В.— В кн.: Моделирование процесса анализа геолого-геофизической информации на ЭВМ.— Минск, 1973, с. 170.
3. Данкевич И. В., Михненко М. И.— Докл. БССР, 1975, № 12, с. 1123.
4. Турий Н. М.— Вестн. Белорусского ун-та. Сер. 2, хим., биол., геол., геогр., 1976, № 2, с. 58.
5. Турий Н. М.— В кн.: Материалы геологического изучения земной коры БССР.— Минск, 1978, с. 68.
6. Доминиковский Г. Г., Медушевская И. А.— Докл. БССР, 1971, т. 196, № 2, с. 409.
7. Математическое обеспечение ЕС ЭВМ, вып. 2.— Минск, 1973, с. 46.

Поступила в редакцию  
05.10.79.

Кафедра геофизики, Институт  
геохимии и геофизики АН БССР