

Навигационные особенности полетов голубей в гравитационном поле Украины

© В. И. Старостенко¹, В. А. Каневский², В. А. Ентин³, О. Б. Гинтов¹,
С. И. Гуськов³, Э. Д. Моренков², Н. Блазер⁴, В. Мескенайт⁴, Г.-П. Липп⁴, 2012

¹Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

²ООО Институт высоких технологий Украины, Киев, Украина

³ПГРГП «Північгеологія», Киев, Украина

⁴Цюрихский университет, Цюрих, Швейцария

Поступила 29 июня 2011 г.

Представлено членом редколлегии М. И. Орлюком

Розглянуто результати випробувальних польотів свійських голубів у рівнинній місцевості України, яка характеризується розчленованим гравітаційним полем (аномалії Буге від -30 до $+70$ мГал). Довжина маршрутів від точки запуску до місця постійного базування становила від 15 до 200 км. Маршрути було прокладено у слабо- й сильно розчленованому полі сили тяжіння. В польотах брали участь як місцеві досвідчені птахи, так і молоді, спеціально вирощені у різко відмінних гравітаційних полях. На птахах закріплювали GPS-датчики, які фіксували координати польоту (φ , λ , H) через кожну 1 с. За результатами досліджень поряд з іншими чинниками (наявність доріг, річок тощо) гравітаційні аномалії навіть незначної величини (± 1 — 2 мГал) впливають на відхилення маршрутів голубів від прямої лінії. Слід продовжити експеримент, який буде відкориговано з урахуванням отриманого досвіду. Запропоновано інерціально-гравітаційний механізм навігації тварин.

Results of test flights of domestic doves in the flat country of Ukraine characterized by partitioned gravity field (Buge anomalies from -30 to $+70$ mGal) have been considered. The length of flights from starting point to the place of permanent location was from 15 to 200 km. The routes were tracked through weakly and strongly divided gravity field. Both local experienced birds and young ones specially bred in outlying gravity fields took part in the flights. GPS sensors were fastened on birds fixing coordinates of flight (φ , λ , H) in every 1 sec. Test results demonstrated with other factors (roads, rivers et al.) that gravity anomalies even small ones (± 1 — 2 mGal) produce deviation of dove tracks from the straight line together. It is urgent to continue the experiment which will be corrected taking into account the experience obtained. Inertial-gravitational mechanism of animal navigation has been suggested.

Введение. Принципы действия навигационных механизмов животных — важная проблема, давно занимающая умы ученых. Ее решение может не только иметь теоретическое значение, но и стать определяющим шагом в создании новых автономных навигационных систем на биотехнологической основе, свободных от искажений какими-либо внешними источниками [Каневский и др., 1985а].

В ходе проводившихся в разных странах экспериментов неоднократно проверялись различные гипотезы о механизме ориентации животных, в частности птиц, — астрономическая, магнитная, инерциальная, метеорологическая, по визуальным признакам ландшафта и др. Однако ни одна из перечисленных гипотез не объясняет всех особенностей полетной ориентации, наблюдаемых в природе и в специальных экспериментах.

В последнее время все большее признание находят представления о гравитационном приводе в навигационном механизме живых организмов. В пользу такого предположения могут свидетельствовать такие уникальные характеристики поля силы тяжести Земли как его беспрепятственное, всеобъемлющее действие в мировом пространстве, практическая стабильность в течение длительного времени. Гипотезу о влиянии гравитационного поля Земли на навигационные способности птиц впервые обосновал один из авторов настоящей статьи, наиболее подробно изложив ее в работе [Каневский и др., 1985б].

С развитием космических спутниковых технологий появились новые возможности экспериментальной проверки степени воздействия физических полей Земли, в первую очередь гравитационного, на механизм навигации

животных путем оперативной фиксации трехмерных координат птиц в полете с привязкой к геофизическим и топографическим картам.

Именно в этом направлении осуществлялись эксперименты на территории Украины, согласно договорам о научном сотрудничестве между Институтом геофизики (ИГФ) НАН Украины и ООО «Институт высоких технологий Украины» (ИВТУ) при участии сотрудников ПГРГП «Північгеологія», а также между ИВТУ и Цюрихским университетом (Швейцария), ученые которого имеют большой опыт в изучении навигационных способностей голубей.

Ниже изложены предварительные результаты экспериментов. Выбор территории Украины (ее центральных областей) связан с такими обстоятельствами: а) равнинная местность, исключающая влияние на полеты птиц топографических факторов; б) значительная интенсивность и градиентность гравитационного, магнитного и других физических полей; в) широко развитое любительское голубеводство.

1. Постановка задачи и общие сведения о районе. Эксперименты по изучению влияния геофизических (гравитационного и магнитно-

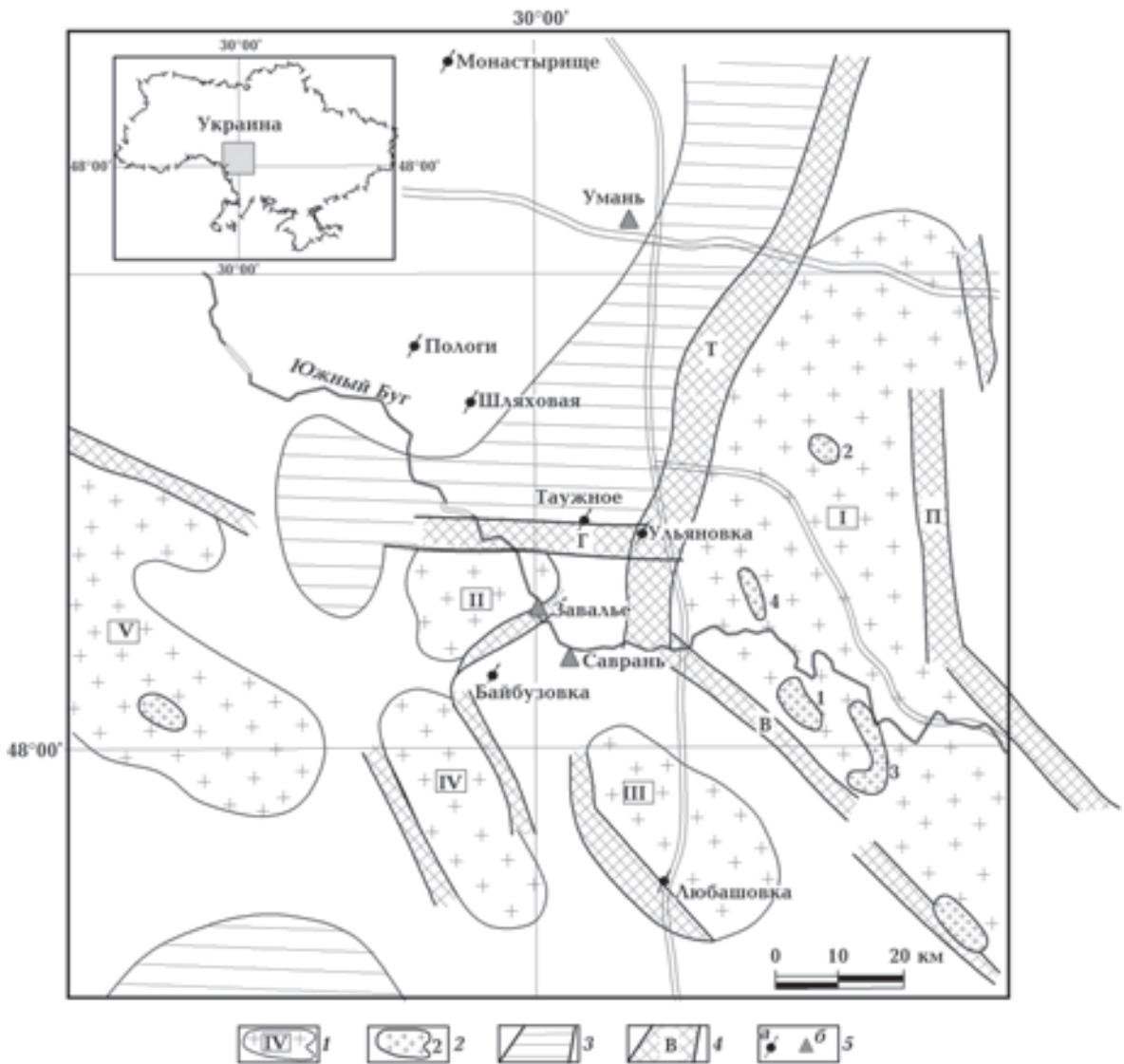


Рис. 1. Обзорная схема гравитационных аномалий экспериментального полигона: 1 — крупные (региональные) аномалии (максимумы): I — Голованевская, II — Бандуровская, III — Кривоозерская, IV — Балтская, V — Кодымская; 2 — локальные гравитационные максимумы: 1 — Секретарский, 2 — Троянский, 3 — Чаусовский, 4 — Молдовский; 3 — минимумы гравитационного поля; 4 — зоны высоких горизонтальных градиентов $\Delta g/\Delta s$ (Т — Тальновская, Г — Гайворонская, В — Врдиевская, П — Первомайская); 5 — пункты старта (а) и финиша (б).

го) полей на навигационные механизмы птиц (голубей) проводились в двух направлениях.

Во-первых, была поставлена задача изучения траекторий полетов *местных* птиц, снабженных приемниками GPS (с автоматической записью пространственных координат через каждую секунду) в геофизических полях различной интенсивности и структуры.

Во-вторых, оказалось необходимым сравнение особенностей траекторий полетов голубей в той же геофизической обстановке, что и в первом случае, но для птиц, *специально выращенных* на месте в геофизических полях с кардинально различными характеристиками.

В качестве оптимального по геофизическим характеристикам экспериментального полигона была выбрана центральная часть Украинского щита (рис. 1) в пределах Бугского, Росинского и Ингульского мегаблоков, разделенных крупными тектоническими швами, которые хорошо проявляются в поле силы тяжести интенсивными линейными *зонами высоких значений модуля горизонтального градиента* (ЗВЗМГГ).

Административно экспериментальный полигон находится в пределах смежных районов Черкасской, Винницкой, Кировоградской, Одесской и Николаевской областей Украины. Общая площадь полигона примерно 20 тыс. км². Территория относится к лесостепной зоне и занята в основном сельскохозяйственными угодьями. Местность представляет собой относительную возвышенность с абсолютными отметками от 200—250 м на севере до 100—150 м на юге, слабо изрезанную овражно-балочной сетью глубиной 15—20 м, к которой приурочены небольшие ручьи и речки бассейна р. Южный Буг.

Климат умеренно континентальный. Наиболее холодный месяц — январь ($t = -4$ °С), жаркий — июль ($t = 18$ °С). Зимний снежный покров непостоянный. Первый снег ложится в декабре, а сходит в начале марта.

Структура геофизических полей экспериментального полигона характеризуется значительными абсолютными перепадами напряженности поля силы тяжести [Куприенко и др., 2007], а также большим количеством локальных гравитационных и магнитных аномалий различного знака. Природа ЗВЗМГГ большой протяженности обусловлена, как правило, глубинными факторами. Им соответствуют крупные зоны разломов — Тальновская, Первомайская, Врадиевская, Гайворонская, Кировоградская и др. [Гинтов, 2005; Ентин, 2005].

Интенсивность ЗВЗМГГ, определяемая по картам аномалий силы тяжести как $|\Delta g / \Delta s|_{\max}$ (s — горизонтальная ось, перпендикулярная к направлению изоаномал), составляет от 30 до 40—50 Э ($1\text{ Э} = 10^{-9} \text{ с}^{-2}$) на отрезке 2 км, а при инструментальном определении на уровне земной поверхности может достигать значение около 100 Е. Особенно большими значениями горизонтальных градиентов отличаются локальные аномалии силы тяжести, имеющие приповерхностную геологическую природу: при величине аномалий 5—10 мГал горизонтальные градиенты могут достигать значений более 100 Э.

Аномальное магнитное поле экспериментального полигона в региональном отношении носит не столь дифференцированный характер по сравнению с гравитационным. В северной части (до широты пгт Ульяновка) оно характеризуется общим пониженным уровнем напряженности по отношению к южной, где нередко фиксируются линейные локальные максимумы амплитудой 20 тыс. нТл и выше, обусловленные наличием в верхней части геологического разреза пород железорудного комплекса.

Общие представления о характере гравитационного и магнитного полей района экспериментальных полетов иллюстрируют рис. 1—4.

Места размещения двух голубятен (см. рис. 1), предназначенных для выращивания голубей в различных геофизических условиях, были определены в пгт Завалье Кировоградской обл. ($48^{\circ}11'52,2''$ с.ш.; $30^{\circ}00'42,5''$ в.д. WGS-84) и пгт Саврань Одесской обл. ($48^{\circ}08'08,4''$ с.ш.; $30^{\circ}04'21,0''$ в.д.). Первая из них размещена в пределах ЗВЗМГГ интенсивностью 50 Э, которая обрамляет с юго-востока крупный Бандуровский максимум силы тяжести, а вторая — в 8 км к югу от первой, в пределах гравитационного поля пониженной напряженности без сколь-нибудь существенных локальных возмущений.

2. Методика работ. Экспериментальные пуски голубей проводились в летний период с июня по август 2010 г. На первом этапе в этих пусках использовались голуби постоянного базирования в городах Кировоград и Умань. Кировоградские голуби были отвезены за 200 км в с. Шляховая, откуда стартовали к дому. Уманские голуби перевозились поочередно в с. Шляховая, г. Монастырище, пгт Ульяновка и Любашовка, откуда также возвращались в свои гнездовья. Пуски голубей со старта проводились по одному или в паре через 10—15 мин каждый.

Маршруты планировались так, чтобы они проходили на фоне поля силы тяжести различной сложности при сохранении примерно равной протяженности полета (~50 км). Исключением были маршруты с. Шляховое — г. Кировоград (200 км) и пгт Любашовка — г. Умань (100 км).

На втором этапе эксперимента осуществлялись пуски молодых голубей, специально выращенных в голубятнях «Завалье» и «Саврань». Вначале были выполнены тренировочные полеты, для чего завальевские птицы были вывезены за 16 км в с. Таужное, а савранские — в с. Байбузовка (15 км), откуда они должны

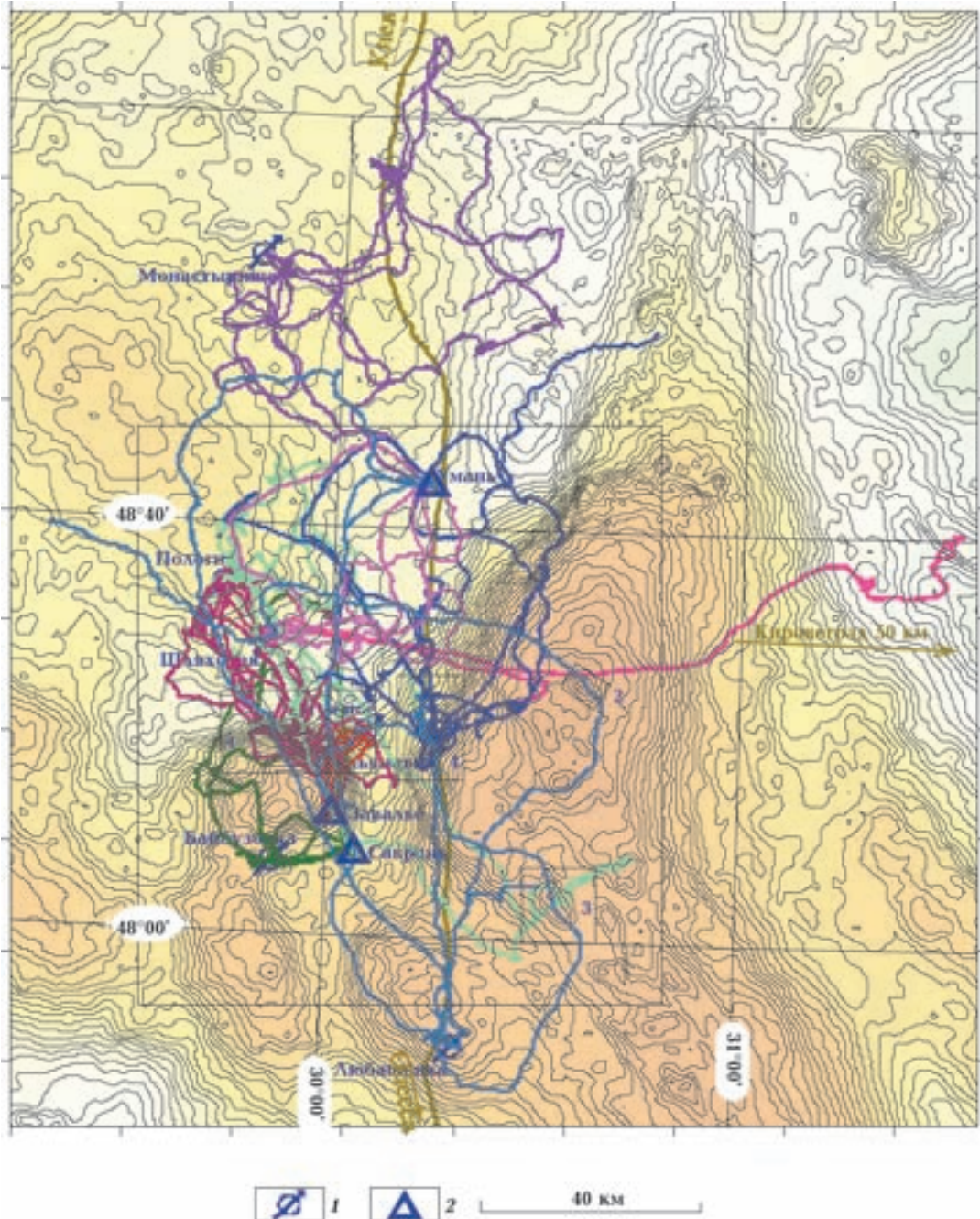


Рис. 2. Схема аномального гравитационного поля (редукция Буге, $\sigma=2,3 \text{ г/см}^3$) экспериментального полигона и маршруты кировоградских (розовые линии), уманских (светло-зеленые, фиолетовые, сиреневые и синие линии), завальевских (красные и бордовые линии) и савранских (зеленые и темно-зеленые линии) голубей: 1 — пункты старта (1 — Гайворонский, 2 — Троянский, 3 — Секретарский, 4 — Ульяновский); 2 — пункты финиша. Прямоугольниками отмечены деталиные участки, показанные на рис. 5, 7, 8.

были вернуться на свои голубятни. Для основного эксперимента обе группы птиц были вывезены в с. Пологи, отделенное от пгт Завалье и Саврань Бандуровским гравитационным максимумом, который они должны были пересечь, возвращаясь к месту своего рождения.

Данные о траекториях полетов птиц определялись после их прилета в свою голубятню и

компьютерной обработки пространственных координат, полученных миниприемниками GPS, прикрепленными к шеям птиц. В последующем маршруты голубей переносились на цифровые карты поля силы тяжести (модуля горизонтального градиента, локальных аномалий, аномалий Буге) и аномального магнитного поля масштаба 1:500 000—1:50 000. Одновре-

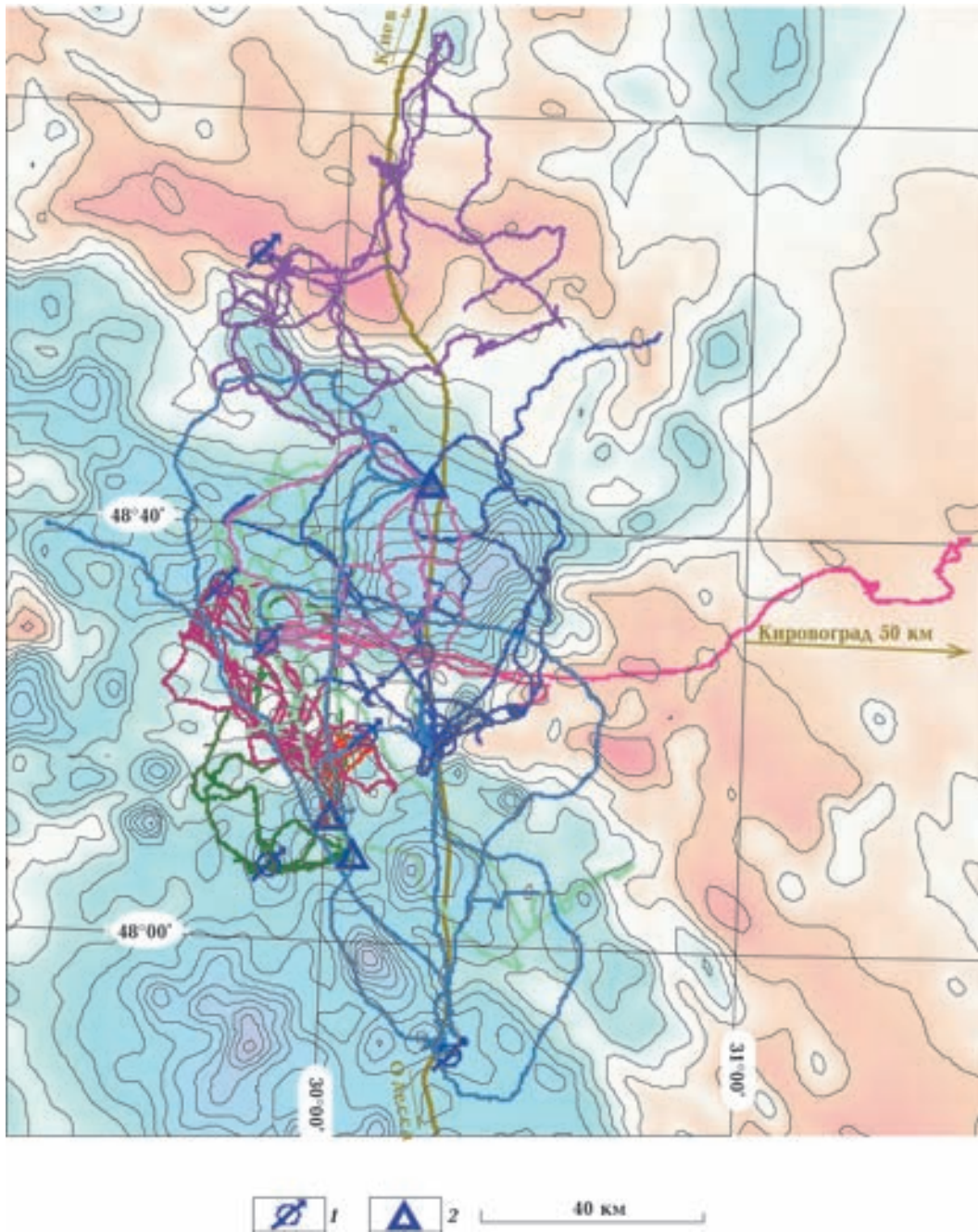


Рис. 3. Региональные особенности аномального магнитного поля ΔT_a экспериментального полигона (аэро съемка на высоте 200 м) и маршруты кировоградских, уманских, завальевских и савранских голубей. Шкала раскраски магнитного поля через 100 нТл. Условные обозначения см. на рис. 2.

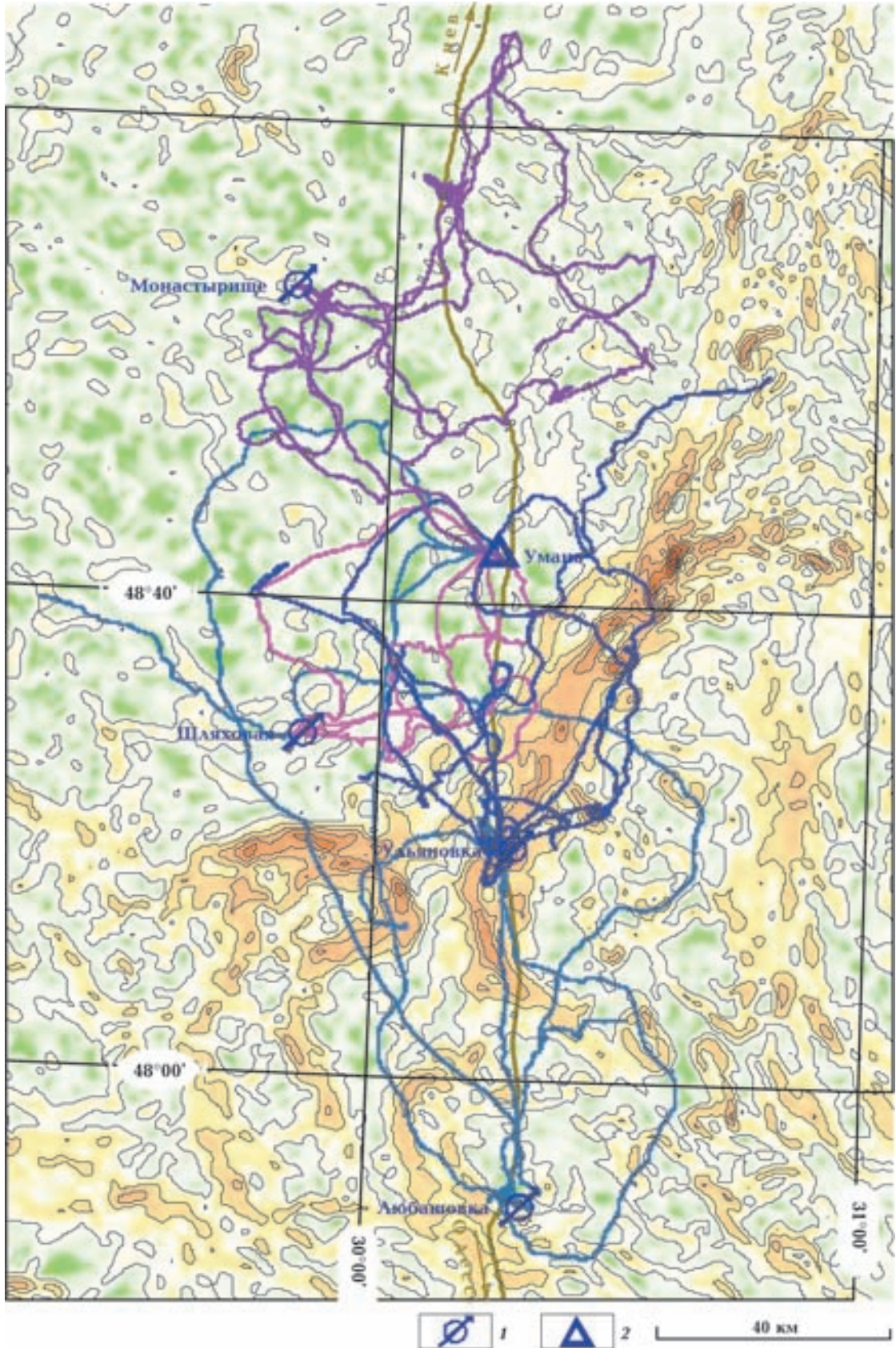


Рис. 4. Маршруты уманских голубей на фоне поля $\Delta g/\Delta s$ экспериментального полигона (изолинии проведены через 10 Е). Условные обозначения см. на рис. 2.

менно с этим траектории полетов накладывались на снимки Google Earth и цифровые топокарты. Для некоторых маршрутов вдоль линии полета строились графики изменения азимута и высоты полета птиц в сопоставлении с графиками геофизических параметров.

Анализ влияния геофизических полей на характер траекторий полетов голубей осуществлялся в основном на качественном уровне. Принималось во внимание также количество

пропавших по каждому маршруту птиц или не долетевших до финиша за время, лимитированное емкостью батареек питания, а также коэффициент K — отношение фактической длины пути каждой птицы к кратчайшему расстоянию по карте между точками старта и финиша.

Все основные сводные количественные показатели по всем полетным маршрутам птиц приведены в таблице.

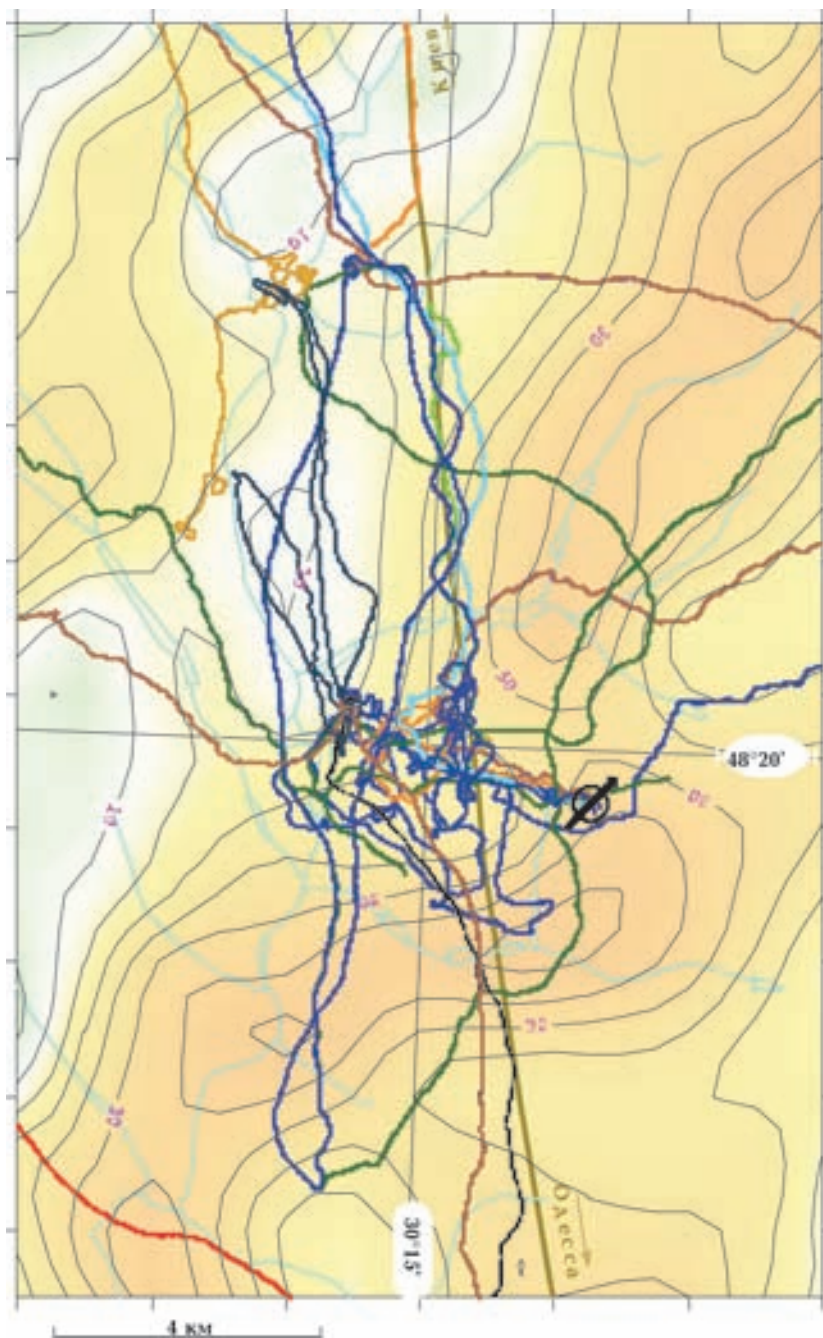


Рис. 5. Траектории полетов уманских голубей в районе пгт Ульяновка на фоне поля $\Delta g/\Delta s$ (точки старта в пгт Ульяновка и Любашовка). Оцифровка изолиний $\Delta g/\Delta s$ в этвешах.

Фактические полетные траектории всех птиц, задействованных в эксперименте летом 2010 г., на фоне карт гравитационного и магнитного поля представлены на сайте: http://dl.dropbox.com/u/14562600/AllTracksSummerUA_Dec_9_2010.kml.

Ниже изложены основные предварительные результаты и выводы, которые, по мнению

авторов, подтверждаются представленными иллюстрациями.

3. Результаты эксперимента. Полеты местных кировоградских и уманских голубей. Маршрут с. Шляховое Винницкой обл. — г. Кировоград был выбран с целью изучения возможного влияния на полеты голубей пере-

Сводная таблица летно-технических показателей

Место голубятни	Показатели	Данные по выпускам					Итого
Кировоград	Место выпуска	с. Шляховое					
	Компасный азимут; кратчайшее расстояние	$Az=90^\circ$; $L=200$ км					
	Дата выпуска	06.06.2010					
	Общее количество	9					9
	Количество пропавших птиц	3					3
	Число полных треков	0					0
	Число укороченных треков	2					2
Умань	Место выпуска	Шляховое	Монастырище (Цибулев)	Ульяновка	Любашовка		
	Компасный азимут; кратчайшее расстояние; K^*	$Az=55^\circ$; $L=41$ км; $K=1,5\div 2,0$	$Az=142^\circ$; $L=52$ км; $K=1,15\div 1,20$	$Az=0^\circ$; $L=44$ км; $K=1,9\div 2,2$	$Az=0^\circ$; $L=100$ км; $K=1,3\div 1,6$		
	Дата выпуска	30.07.2010	01.08.2010	04.08.2010	08.08.2010	11.08.2010	
	Общее количество	14	11	9	8	4	46
	Количество пропавших птиц	3	2	0	3	0	8
	Число полных треков	8	3	3	3	0	17
	Число укороченных треков	0	6	6	2	4	18
Завалье	Место выпуска	Таужное	Пологи				
	Компасный азимут; кратчайшее расстояние; K^*	$Az=205^\circ$; $L=16$ км; $K=1,25$	$Az=150^\circ$; $L=46$ км; $K=1,1\div 1,4$				
	Дата выпуска	25.08.2010	26.08.2010	27.08.2010	28.08.2010		
	Общее количество	12	6	5	3		26
	Количество пропавших птиц	1	0	0	0		1
	Число полных треков	9	6	5	1		21
	Число укороченных треков	0	0	0	0		0
Саврань	Место выпуска	Байбузовка	Пологи				
	Компасный азимут; кратчайшее расстояние; K^*	$Az=90^\circ$; $L=15$ км; $K=до 7$	$Az=150^\circ$; $L=54$ км; $K=до 4$				
	Дата выпуска	24.08.2010	26.08.2010	27.08.2010	28.08.2010		
	Общее количество пусков	14	6	5	3		28
	Количество пропавших птиц	0	2	1	0		3
	Число полных треков	12	4	0	1		17
	Число укороченных треков	2	0	3	2		7
Всего	Количество выпущенных						109
	Количество пропавших птиц						15
	Число полных треков птиц						55
	Число укороченных треков						27

* Отношение фактической длины пути каждой вовремя долетевшей птицы к кратчайшему компасному расстоянию по карте между точками старта и финиша.

секаемых ими нескольких линейных ЗВЗМГГ субмеридионального простираня.

Характер влияния геофизических полей на траекторию полета кировоградских голубей, к сожалению, ограничивается анализом треков лишь двух птиц, для которых нет, как указано, полной записи маршрута. Длины маршрутов с записью составляют соответственно 50 и 150 км (рис. 2, 3).

При движении по маршруту четко проявилась тенденция к пересечению голубями Тальновской ЗВЗМГГ интенсивностью 50 Э в перпендикулярном к ней направлении, области локальных аномалий силы тяжести птицы старались огибать вдоль изолиний, т. е. по близким к нулевым значениям горизонтального градиента. Это обстоятельство привело к отклонению полетного маршрута одной из птиц на 50 км к северу от прямого курса на г. Кировоград и прекращению полета. Если еще учесть утерю в этом маршруте трех птиц, то следует оценить его как весьма сложный.

Маршруты с. Шляховое — г. Умань и г. Монастырище (пгт Цыбулев) — г. Умань считались легкими ввиду отсутствия по прямым линиям маршрутов существенных возмущений поля силы тяжести. Однако в 20 км к востоку от этих линий располагается интенсивная и протяженная Тальновская ЗВЗМГГ северо-восточного направления. Именно в сторону этой ЗВЗМГГ стартовали из с. Шляховое почти все голуби (за исключением одного), и лишь при подлете к ней или частично втягиваясь в ее пределы, они, обходя локальные экстремумы, изменяли направление полета, поворачивая на север в сторону г. Умань (см. рис. 4). На отдельных отрезках маршрута голуби приурочивали свой путь к речной сети и другим визуальным ориентирам.

Полетные траектории большинства птиц, выпущенных из г. Монастырище (пгт Цыбулев), были весьма хаотичны. Лишь три голубя сразу после стартовых кругов взяли относительно прямой курс на г. Умань и достигли его, обходя в полете небольшие по амплитуде экстремумы δg_a , за время записи спутниковых сигналов ($K=1,15 \div 1,20$).

Остальные шесть птиц стартовали в самых разных направлениях (рис. 4). Пролодав в течение маршрута по несколько немотивированных видимыми причинами изменений курса и кружений, птицы в большинстве случаев отклонились в сторону Тальновской ЗВЗМГГ. Пролетев за время записи сигналов GPS более 100 км, птицы вернулись в г. Умань за пределами лимитированного времени.

Маршрут пгт Ульяновка — г. Умань — наиболее сложный в отношении возможного влияния на траекторию полета поля силы тяжести (рис. 5). Точка старта располагалась в узле пересечения трех ЗВЗМГГ — Тальновской, Гайворонской и Врадиевской (известная геофизикам и геологам «зона тройного сочленения»), и вся южная часть прямого маршрута проходила в пределах Тальновской ЗВЗМГГ. По-видимому, в силу этого полетная ориентация всех голубей оказалась весьма затрудненной, хотя на всем протяжении маршрута имелся хороший визуальный ориентир — автотрасса Одесса—Киев.

Почти все голуби определялись в начальном направлении полета лишь после нескольких кружений в месте старта. Особые затруднения возникали при прохождении Тальновской ЗВЗМГГ. Одна часть птиц выходила из зоны через западный фланг, другая долго следовала вдоль ее восточного фланга, стараясь пересекать локальные аномалии $\Delta g/\Delta s$ под прямым углом или обходить их вдоль изолиний, следуя на отдельных отрезках своего полета вдоль различных приметных элементов местности (речек, автодорог, посадок).

Сложности маршрута проявились в том, что только 3 птицы из 9 смогли достичь своей голубятни за время записи спутниковых сигналов, преодолев при этом расстояние в 2 раза больше прямого ($K_{\Pi}=1,9 \div 2,2$). Кроме того, еще 3 голубя, которые летели позже по маршруту Любашовка—Умань, резко изменили характер полета в районе пгт Ульяновка и прекратили полет, не преодолев фиксируемой здесь сложной по структуре области аномального поля силы тяжести. На наш взгляд, именно характер пролетов голубей над южным участком маршрута Ульяновка — Умань с наибольшей наглядностью может свидетельствовать о существенном влиянии аномальных элементов гравитационного поля на навигационные способности птиц.

Маршрут пгт Любашовка — г. Умань почти в 2 раза более протяженный по сравнению с тремя предыдущими (см. рис. 2—4). Как и в случае старта птиц из пгт Ульяновка, прямая линия полета должна была проходить вдоль автотрассы Одесса—Киев. Однако на протяжении 50 км она пролегает через область сочленения ЗВЗМГГ различного простираня. Поэтому из всех участвовавших в экспериментальных полетах птиц лишь две, сразу после начальных кругов, взяли прямой курс на Умань. Однако, как отмечалось выше, дойдя до пгт Ульяновка, они не смогли преодолеть ЗВЗМГГ. Остальные

птицы уже со старта начали обходить аномальную область с востока и запада, стараясь при этом пересекать встречаемые неоднородности поля силы тяжести под прямым углом либо огибать локальные экстремумы вдоль линий минимальных (близких к нулевым) значений градиента. Это привело к значительному увеличению полетного времени.

Полеты голубей, выращенных в пгт Завалье и Саврань (рис. 6, 7). Тренировочный полет завальевской группы голубей из с. Таужное (16 км) проходил на фоне гравитационного поля сложной структуры (рис. 7).

В случае прямого курса на пгт Завалье птицам следовало пересечь под острым углом субмеридиональную ЗВЗМГГ, ограничиваю-

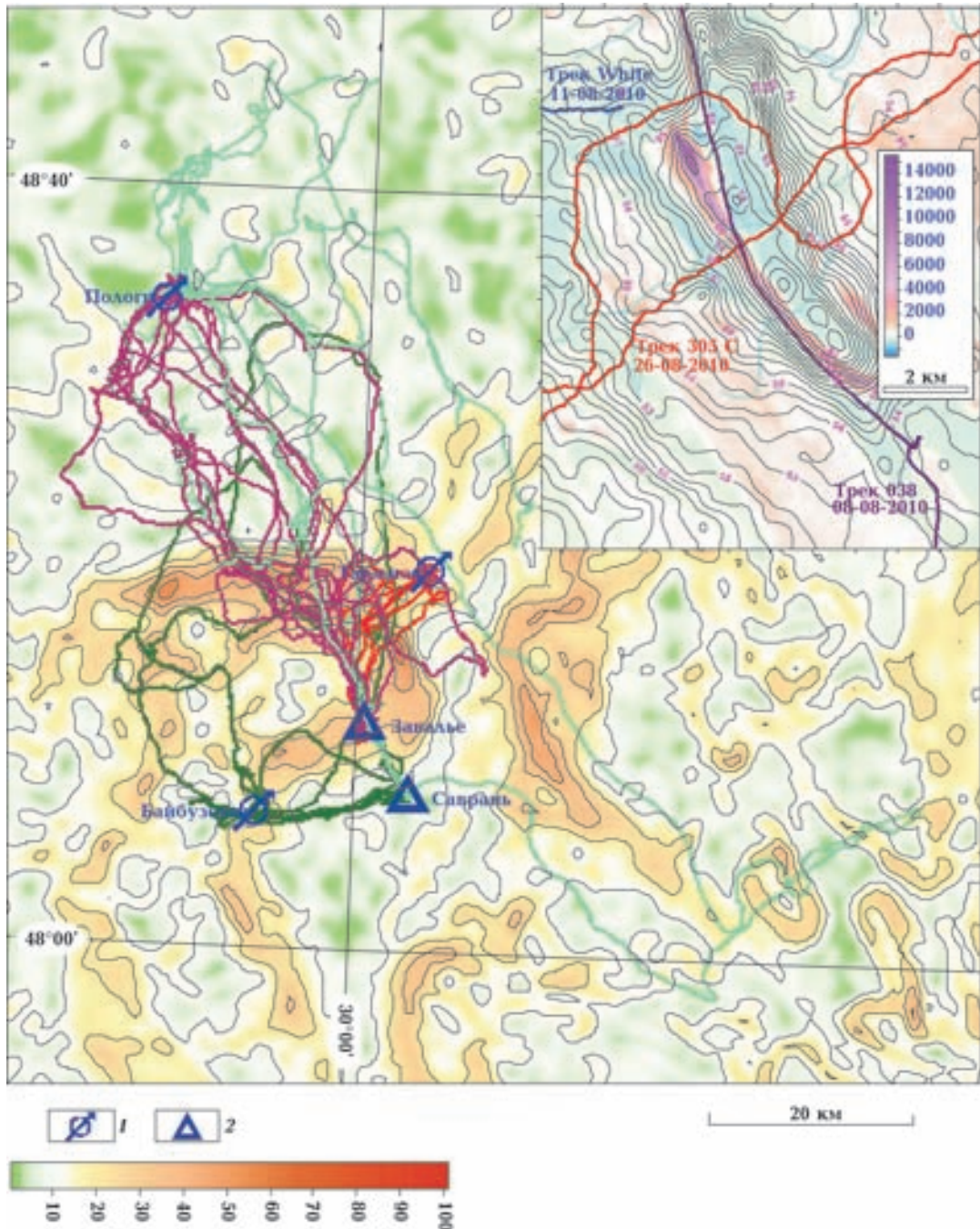


Рис. 6. Маршруты завальевских и савранских голубей на фоне поля $\Delta g/\Delta s$ экспериментального полигона. На врезке показаны особенности траекторий полета голубей № 038, 305 и White в районе Секретарской гравимагнитной аномалии (оцифровка изолиний Δg через 0,5 мГал, интенсивность аномалий ΔT_a показана на шкале раскраски). Условные обозначения см. на рис. 2.

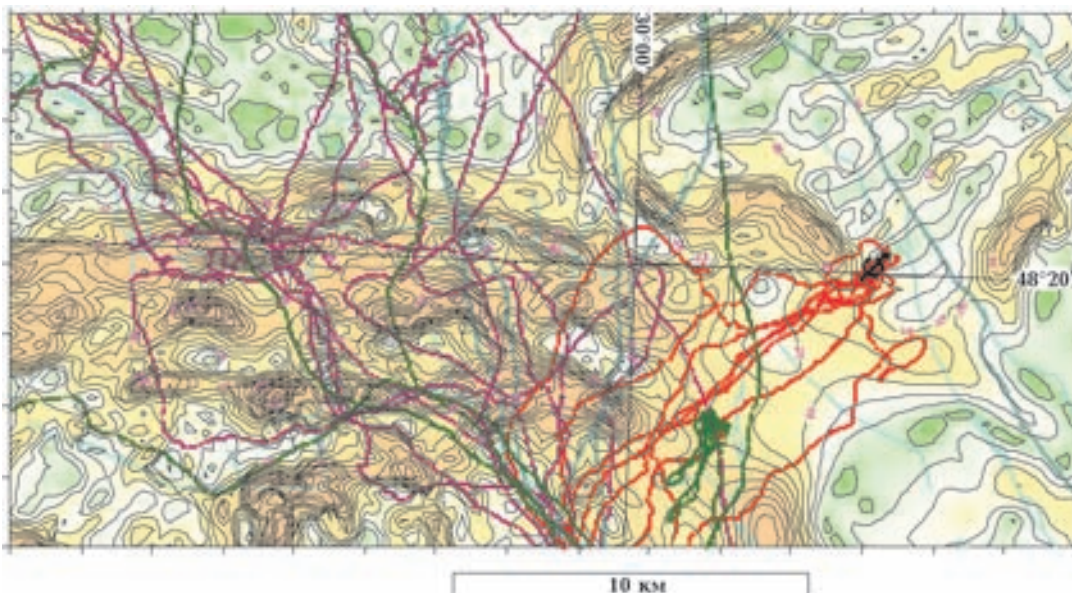


Рис. 7. Особенности траекторий полета завальевских и савранских голубей при пересечении Гайворонской зоны $\Delta g/\Delta s$.

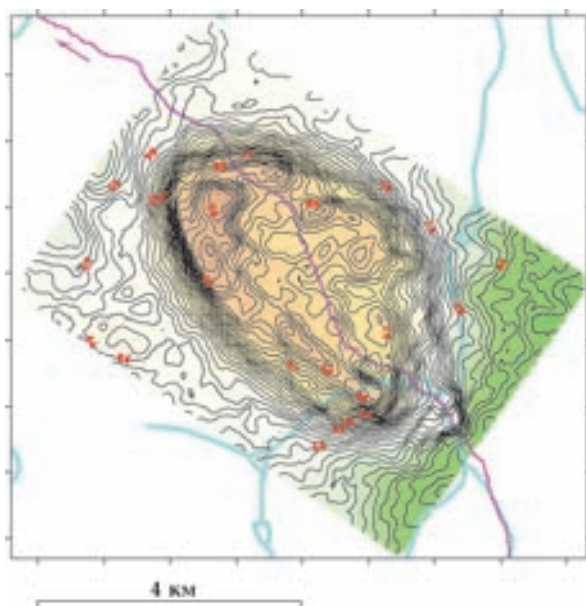


Рис. 8. Особенности траектории полета голубя № 169 (маршрут Любашовка—Умань) в районе Троянского гравитационного максимума.

щю Бандуровский максимум силы тяжести с востока. Фактическая траектория начального отрезка маршрута всех птиц значительно отклонилась к северу, так что они пересекли ЗВЗМГГ в области ее разрыва по субортogonalному к ней курсу. Лишь приблизившись к долине р. Южный Буг, птицы меняли направление полета на южное и летели прямо на пгт Завалье вдоль реки.

Тренировочный полет савранской группы голубей, выросших в спокойном поле силы тяжести, проходил из с. Байбузовка (15 км к западу от пгт Саврань) вдоль автодороги на фоне гравитационного поля простой структуры. Лишь точка старта была расположена в эпицентре локального максимума. Тем не менее только 7 из участвующих в эксперименте 14 птиц смогли достичь своей голубятни по прямому курсу. Остальные голуби, покидая место старта, круто поворачивали к северу и втягивались в область влияния Бандуровского максимума силы тяжести, обходя его эпицентр по сложным траекториям.

Основной экспериментальный полет по маршруту с. Пологи—пгт Завалье (46 км) и с. Пологи—пгт Саврань (54 км) завальевских и савранских голубей был выбран таким образом, чтобы начальный азимут ($\sim 150^\circ$) полета для обеих групп совпадал (пункты Пологи, Завалье, Саврань находятся на одной прямой), а в полете голуби, начав свой путь в спокойном поле, на конечном этапе преодолевали одни и те же аномалии поля силы тяжести (см. рис. 6).

Вся группа завальевских голубей в лимитированное время достигла своей голубятни, из савранской группы — только 5 птиц, а 3 вообще пропали.

Сравнительный анализ характера траекторий полетов этих двух групп птиц позволяет весьма определенно говорить, что трассы завальевских птиц были сразу более точно ориентированы на свою голубятню. Только при подходе

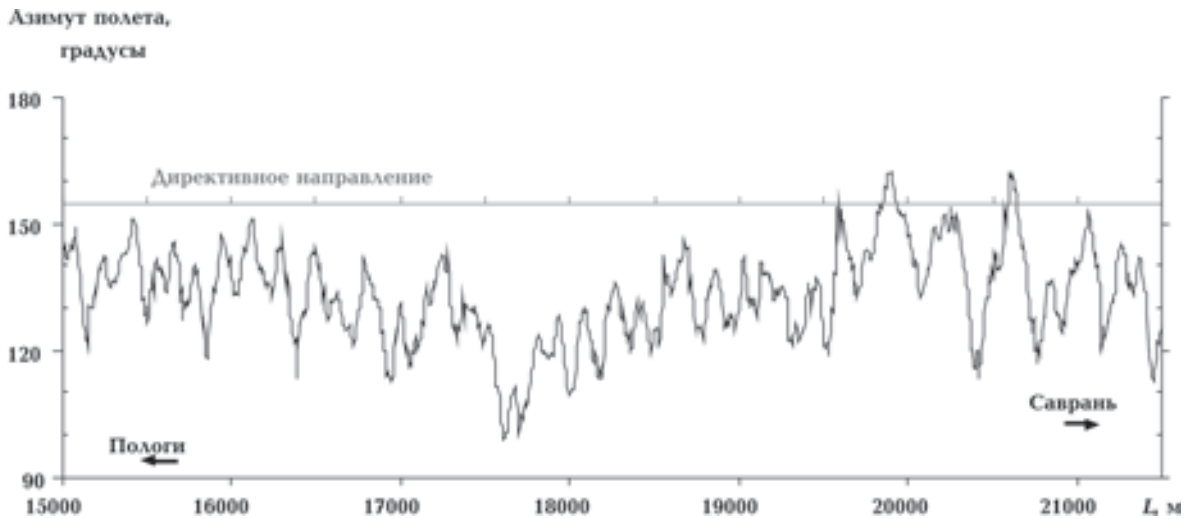


Рис. 9. Характер азимутального графика полетов голубей на примере фрагмента тректории голубя № 305С по маршруту с. Пологи — пгт Саврань.

и пересечении субширотной Гайворонской ЗВЗМГГ, контролирующей северную границу Бандуровского максимума, они изменяли свои курсы в обход локальных экстремумов. Иногда голуби стремились пересекать отдельные градиентные зоны в ортогональном к ним направлении и приурочивали на отдельных отрезках свой маршрут к речной долине (рис. 7).

Практически вся савранская группа голубей, выращенная в слабоградиентном поле силы тяжести, сразу после старта, в отличие от завальевской, приняла курс на обход Бандуровского максимума по восточной дуге и летела вдоль изолиний обрамляющей его северо-восточной ЗВЗМГГ. Лишь один трек (№ 123) пролегал западнее прямого курса на Саврань, но голубь, встретив на своем пути широтную Гайворонскую ЗВЗМГГ, не смог ее преодолеть, как и голубь № 330 из данной группы, прекративший в этой зоне свой полет.

Весьма показательным в отношении влияния поля силы тяжести на курсовые изменения полета птиц является характер треков голубей в области пересечения ими интенсивных локальных аномалий силы тяжести, в частности Секретарской и Троянской. Полеты птиц к данным аномалиям не планировались, но птицы тем не менее оказывались вблизи аномалий отклоняясь от своих прямых маршрутов. Причем это относится как к уманским, так и савранским голубям. Голубь № 038, вылетевший из пгт Любашовка, при подлете и пересечении Секретарской аномалии, достаточно строго придерживался ее осевой линии (см. врезку на рис. 6), где горизонтальный гра-

диент минимален ($|\Delta g/\Delta s| \rightarrow 0$). Туда же устремился и голубь White, который сразу после старта в пгт Любашовка взял направление на восток, к Секретарской аномалии, и, достигнув ее северной зоны $\Delta g/\Delta s_{\max}$, прекратил полет. Точно так же голубь № 169 пересек Троянскую аномалию вдоль ее оси (рис. 8). Голубь № 305С, вылетевший из с. Пологи в пгт Саврань, сильно отклонился в направлении осевой линии Голованевского максимума, подлетел к Секретарской аномалии, пересек ее по центру строго перпендикулярно, затем вернулся назад и уже обогнул ее по северному полукольцу, следуя параллельно линиям минимальных значений горизонтального градиента (см. рис. 6, врезка). Пролодав общий путь в 200 км ($K_{\Pi}=4$), голубь вернулся на свою голубятню.

Приведенные четыре примера наглядно демонстрируют влияние гравитационного поля на курсовые отклонения птиц.

Выводы. В основных и тренировочных полетах по семи маршрутам в сезоне 2010 г. приняли участие 109 птиц, что позволило отследить 82 трека и сделать некоторые предварительные выводы.

Полеты голубей проходили с постоянным высокочастотным (через 60—90 м) изменением азимута на $10\text{—}15^\circ$ в обе стороны от генерального направления на данном отрезке маршрута (рис. 9), т. е. голуби летят как бы «галсами», нащупывая верный путь через реакцию на отклонения от основного приводного сигнала (принцип миноискателя).

Первоначальное направление полета птиц в маршруте не всегда находит однозначное объ-

яснение. Часто на первом отрезке пути, иногда весьма протяженном, птицы принимают курс, далекий от прямого на свою голубятню. В случае старта в сложных геофизических условиях (пгт Ульяновка, Любашовка, с. Таужное) такую ситуацию можно объяснить искажающим влиянием аномального поля силы тяжести. При старте в условиях простого по структуре гравитационного поля и отсутствии иных отклоняющих факторов (с. Шляховое, г. Монастырище, с. Пологи) такие значительные начальные отклонения от оптимального курса не находят видимого объяснения. Можно предположить, что в этих случаях сказываются индивидуальные особенности адаптации механизма дальней навигации птиц к условиям места старта или же искажающее влияние дальних интенсивных ЗВЗМГГ. Нельзя исключать и другие, не геофизические, факторы.

Почти все траектории птиц в экспериментальных полетах любой геофизической сложности проходили по сложной ломаной линии. Единственным исключением из этой закономерности стал тренировочный запуск голубей из с. Байбузовка на пгт Саврань, когда из 14 птиц 7 достигли своей голубятни по относительно прямому маршруту, руководствуясь, по-видимому, визуальным ориентиром (автодорога, пойма р. Савранка).

Вообще приуроченность треков голубей к орографическим, ландшафтным, техногенным и другим ориентирам местности отмечается лишь на локальных отрезках полетов. Наиболее заметно такое явление наблюдалось для уманских голубей при их подлете к дому, когда большинство птиц заходили на посадку, вне зависимости от места старта, по северо-западной, очевидно ранее хорошо знакомой глиссаде.

Необходимо отметить, что описанные экспериментальные полеты, особенно для завальевской и савранской групп голубей, проводились без предварительных тренировок по дальним маршрутам, что практически исключает фактор запоминания ландшафтных и прочих маяков вдали от дома. В этом существенное отличие от экспериментальных полетов, рассмотренных в работе [Lipp et al., 2004], где на начальном и среднем отрезках маршрутов для части треков голубей отмечались сильные корреляционные связи между азимутом полета и положением различных ландшафтных маяков (автодороги, железнодорожные пути и проч.).

Заметное влияние аномалий гравитационного поля на навигационные способности голубей проявляется в частных отклонениях их курсов

от основного маршрута. Отмечаются две главные особенности этого влияния: встречаемые по маршруту протяженные ЗВЗМГГ птицы стараются обходить по флангам, двигаясь вдоль линий равных значений градиента в направлении минимальной изменчивости напряженности. Если же они пересекают такие зоны, то делают это преимущественно в местах разрыва их сплошности и в ортогональном направлении.

Влияние локальных аномалий гравитационного поля относительно небольшой амплитуды проявляется в изменении курса птиц, направленном на обход этих экстремумов по линии равных значений напряженности (по изомале). Аномалии значительных размеров и контрастности (Секретарская, Троянская) могут восприниматься птицами как ЗВЗМГГ, и тогда они преодолеваются либо вдоль длинной оси симметрии, либо вкрест простираения по кратчайшему пути.

Создается впечатление, что интенсивные положительные аномалии силы тяжести, такие как региональные Голованевский и Бандуровский максимумы с их ЗВЗМГГ, или локальные аномалии того же знака большой амплитуды (Секретарская, Троянская) как бы «притягивают» к себе птиц. В то же время встречаемые по маршруту крупные минимумы силы тяжести (область минимума между Бандуровским и Голованевским максимумами, локальные минимумы в контуре этих региональных аномалий и т. д.), в противоположность максимумам, оказывают «отталкивающее» влияние на летящих голубей.

Отмеченные выше особенности прохождения птицами аномальных элементов поля силы тяжести сохраняются и для завальевской, и для савранской групп птиц. Однако завальевская группа, выращенная в условиях ЗВЗМГГ, в обоих полетах держалась более кучно, их полетные траектории, несмотря на геофизические особенности, характеризуются более прямым курсом на свою голубятню. Все они в лимитированное время достигли своей голубятни.

Треки савранской группы птиц носят более хаотичный характер, часть голубей (5 из 14) из с. Пологи не смогли преодолеть за лимитированное время путь к своей голубятне, а 3 вообще пропали. Еще один голубь (№ 305), как уже отмечалось, на пути к своей голубятне пролетел расстояние, в 4 раза большее кратчайшего расстояния.

Разница в степени влияния особенностей поля силы тяжести на навигационные способности птиц, выросших в разных геофизиче-

ских условиях, по результатам выполненных полетов, по нашему мнению, проявляется весьма существенно.

Специальные экспериментальные полеты для изучения влияния элементов магнитного поля на навигационные способности птиц не планировались. Однако с учетом в целом сложной картины магнитного поля района исследований данная компонента попутно также анализировалась.

Заметного влияния аномального магнитного поля на траекторию полета птиц при этом не было отмечено. Показательными могут быть траектории полетов птиц 038 (Любашовка—Умань, 08.08.2010) и 305С (Пологи—Саврань, 26.08.2010), которые в своих маршрутах проходили комплексную гравимагнитную Секретарскую аномалию (см. врезку на рис. 6).

Здесь вдоль южного и западного флангов основного максимума силы тяжести прослежена высокоинтенсивная магнитная аномалия амплитудой более 10 тыс. нТл. Однако при пересечении и облете этой области аномальных геофизических полей птицы начинали корректировать свой курс, еще находясь на далеком расстоянии (5—6 км) от осевой линии магнитной аномалии, реагируя, как показано выше, на влияние элементов гравитационного поля.

Результаты проведенного эксперимента не могут ни подтвердить, ни опровергнуть те или иные гипотезы относительно природного навигационного механизма голубей *гальне-го действия*. Однако влияние аномалий поля силы тяжести на их курсовые отклонения, иногда весьма значительные, по нашему мнению, не вызывает сомнения.

Возможный инерциально-гравитационный механизм навигации животных. Согласно гипотезе В. А. Каневского, в месте рождения птицы (пункт A) в ее мозгу формируется молекулярный биомеханизм — плоскость P_A , перпендикулярная к вектору ускорения силы тяжести \mathbf{g}_A , существующему в точке рождения, и ощущаемая как *плоскость горизонта*. Такой механизм подобен гиросмаятнику, настроенному на период Шуллера $\tau = 2\pi(R/g)^{1/2}$ (здесь R — расстояние от центра тяжести гироскопа до центра Земли; \mathbf{g} — ускорение силы тяжести) и всегда ориентируемо по вектору \mathbf{g} .

В мозгу птицы, как, по-видимому, и в мозгу любого другого животного, существует также молекулярный *свободный* биогирискоскоп, ось которого при рождении и взрослении ориентируется также по вектору \mathbf{g}_A — перпендикулярно к плоскости P_A . Сформированная в мозгу молекулярная плоскостная неоднородность

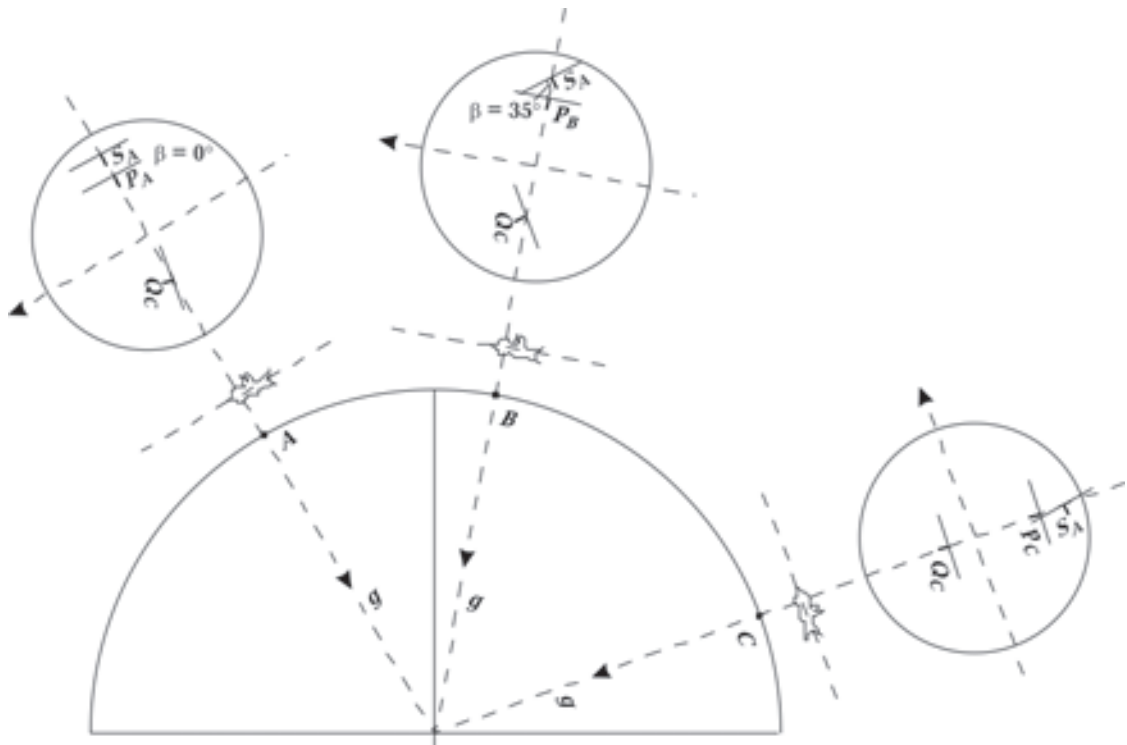


Рис. 10. Схема возможного инерциально-гравитационного механизма навигации птиц.

(плоскость S_A), перпендикулярная к оси этого свободного гироскопа, параллельна в точке рождения плоскости P_A , т. е. угол β_A между этими плоскостями равен нулю (рис. 10).

Фундаментальное свойство свободного гироскопа — неизменность его ориентации в звездном пространстве. Следовательно, при перемещении птицы в пункт B , в котором вектор ускорения силы тяжести $\mathbf{g}_B \neq \mathbf{g}_A$, ось свободного биогирискапа, как и плоскость S_A , все равно будут ориентированы *параллельно самим себе*, т. е. по вектору \mathbf{g}_A (ось) или перпендикулярно к нему (плоскость). В то же время плоскость горизонта, ощущаемая птицей, станет перпендикулярной к вектору \mathbf{g}_B (плоскость P_B). Возникновение угла $\beta_B \neq 0$ между плоскостями P_B и S_A ведет к биохимическим изменениям в мозгу птицы, ощущаемым в виде боли, дискомфорта и др. Угол β_B минимален в направлении BA и быстрее всего уменьшается вдоль этой линии, поэтому при полете назад птица выбирает именно данное направление и стремится к точке, где подобных ощущений вообще нет, т. е. к месту своего рождения.

Гравитационная гипотеза предусматривает объяснение еще одного навигационного феномена, когда некоторые птицы в первую свою навигацию в одиночку безошибочно добиваются до удаленного на тысячи километров места зимовки, известного их старшему поколению (пункт C). Предполагается, что в мозгу птицы *генетически* заложен еще один молекулярный свободный биогирископ, ориентированный по вектору \mathbf{g}_C , который «включается» в момент начала миграции птицы к месту зимовки (а свободный гироскоп места рождения «отключается»).

Спорное место в рассматриваемой гипотезе — наличие региональных и локальных аномалий силы тяжести, вызванных плотностными неоднородностями, особенно расположенными вблизи земной поверхности. Такие плотностные неоднородности создают горизонтальную составляющую вектора \mathbf{g} , отклоняющую его от истинной вертикали, что вносит искажения в величину угла β . Авторы работы [Каневский и др., 1985б] считают, что вблизи подобных аномалий птицы временно теряют ориентацию, но быстро ее обретают, двигаясь в разные стороны и выходя по своим ощущениям на угол β_{\min} .

В пределах Украинского щита, в частности описываемого в настоящей статье полигона, наиболее крупной гравитационной аномалией является Голованевский максимум силы

тяжести (80 мГал), связанный с плотностной неоднородностью, которая охватывает всю мощность земной коры и выходит на поверхность. Максимальная величина горизонтальной составляющей ускорения силы тяжести g_{xs} , обусловленной этой неоднородностью, приблизительно в 2 раза меньше. Несложный расчет показывает, что она вызывает предельное отклонение вектора \mathbf{g} от истинной вертикали на $8''$, причем данное отклонение будет максимальным у кромки тела, т. е. в зоне высоких горизонтальных градиентов \mathbf{g} . Если пункт A , к которому стремится птица, находится, например, в 20 км от этого места, то угол β при отсутствии аномалии составлял бы $\sim 14'$, что на 2 порядка выше аномального отклонения. Средняя величина локальных гравитационных аномалий на полигоне составляет $\pm 1—2$ мГал, а величина аномального отклонения вектора \mathbf{g} от истинной вертикали $\pm 1—2''$. При тех же расстояниях это на 2—3 порядка меньше угла β , и птица, скорее всего, таких отклонений не почувствует.

Что же тогда вызывает реакцию птиц, как показывает практика, даже на относительно небольшие гравитационные аномалии и особенно на зоны высоких горизонтальных градиентов $|dg/ds|_{\max}$? Продолжая анализировать проблему влияния гравитационного поля на ориентацию и навигацию птиц, можно предположить, что ориентационный механизм животных (в данном случае птиц) сложнее описанного выше и названного авторами работы [Каневский и др., 1985а] механизмом *гальной* ориентации. По-видимому, птицы используют не один ориентационный механизм, а несколько, включая и визуальный, особенно вблизи точки дома, когда угол β небольшой.

Кроме трех предполагаемых молекулярных биогирископов в мозгу птицы может существовать биологический акселерометр — плоский маятник с осью чувствительности, расположенной в горизонтальной плоскости (гироскомпас). Он реагирует на ускорения в процессе движения и поворотов животного и преобразует их биохимические сигналы. Соединение таких биологических механизмов создает в мозгу птицы чувство горизонта и чувство географического меридиана, что может быть упрощенно сформулировано как «точное знание направлений север—юг и восток—запад». Кроме того, гироскомпас, освобожденный от действия вертикальной составляющей вектора \mathbf{g} , предельно чувствителен к горизонтальной составляющей. В технике она измеряется с точностью до $10^{-7} g$

(около 0,1 мГал [Мартыненко, 1997]), а птица может быть гораздо чувствительнее. Ведь даже современные гравиметры и градиентометры измеряют g с точностью до 10^{-8} .

При таком механизме ориентации становится понятной установленная экспериментально реакция птиц на зоны горизонтального градиента гравитационного поля dg/ds , которые тесно связаны именно с горизонтальной составляющей вектора g . Горизонтальный градиент на поверхности Земли наиболее низкий у нормального гравитационного поля (порядка 8 Э) и наиболее высокий у локальных аномалий (до 200 Э в некоторых точках рассматриваемого полигона), хотя последние по величине на несколько порядков меньше g . Если предположить, что ориентационный биомеханизм птицы приспосабливается к новым параметрам поля силы тяжести в течение определенного времени, а не мгновенно, то становится ясным, почему голуби стараются либо быстрее пересечь зону высоких градиентов, либо лететь вдоль изолиний, либо вообще облететь локальную аномалию.

Таким образом, исходя из приведенного механизма ориентации животных в гравитационном поле Земли, влияние этого поля на навигационные особенности полетов птиц необходимо разделить на две части:

а) общее влияние поля g на инерциально-молекулярный гироскопический биомеханизм — необходимый элемент его стабилизации и

дальнейшей ориентации в пространстве;

б) влияние поля dg/ds , которое, с одной стороны, является как бы «мешающим» фактором, затрудняющим прямолинейный полет птицы, а с другой — создает барьеры, возможно запоминаемые птицей и служащие ей дополнительными ориентирами в поисках дома.

Анализируя гипотезу в целом и сопоставляя ее с результатами приведенных выше полетных экспериментов, отметим, что гравитационная гипотеза в состоянии объяснить многие закономерности и аномалии полетной ориентации птиц, отмеченные не только на украинском полигоне, но и в других странах мира.

Учитывая, что биомеханизмы гравитационной ориентации птиц устроены, скорее всего, по типу сложных гироскопических систем, такие механизмы точнее было бы называть *инерциально-гравитационными*.

Условия равнинной части территории Украины весьма благоприятны для изучения закономерностей и аномалий в полетной ориентации птиц. Гипотетичность рассматриваемых навигационных механизмов подтверждает необходимость дальнейших исследований. Будущие полетные эксперименты должны быть более выверенными и целенаправленными именно в отношении сопоставления с характерными особенностями аномального гравитационного поля. Тогда, возможно, удастся найти более однозначное решение задачи об инерциально-гравитационном механизме.

Список литературы

- Гинтов О. Б. Полевая тектонофизика и ее применения при изучении деформаций земной коры Украины. — Киев: Феникс, 2005. — 572 с.
- Ентин В. А. Геофизическая основа тектонической карты Украины масштаба 1:1000 000 // Геофиз. журн. — 2005. — 27, № 1. — С. 74—84.
- Каневский В. А., Сытник К. М., Шеляг-Сосонко Ю. Р., Мельников Д. И., Бусель Б. И., Молдаван М. Г., Головкин М. И. Применение биотелеметрии в дистанционных геофизических исследованиях // Докл. АН УССР. — 1985а. — 282, № 2. — С. 291—294.
- Каневский В. А., Дыма А. Г., Мельников Д. И., Моренков Э. Д., Бусель Б. И., Молдаван М. Г., Шеляг-Сосонко Ю. Р. Ориентация и навигация птиц по гравитационному полю Земли // Труды Института эволюционной экологии и морфологии животных. — Москва, 1985б. — С. 74—81.
- Куприенко П. Я., Макаренко И. Б., Старостенко В. И., Легостаева О. В. Трехмерная плотностная модель земной коры и верхней мантии Украинского щита // Геофиз. журн. — 2007. — 29, № 5. — С. 3—27.
- Мартыненко Ю. Г. Тенденции развития современной гироскопии // Сорос. образоват. журн. — 1997. — № 11. — С. 120—127.
- Lipp H.-P., Vyssotski A. L., Wolfer D. P., Renaudineau S., Savini M., Troster G., Dell'Omo G. Pigeon homing along highways and exits // Current Biology. — 2004. — 14, July 27. — P. 1239—1249.