

УДК 621.391.244

*А.В. КЛОКОВ, А.С. МИРОНЬЧЕВ, А.С. ЗАПАСНОЙ, Н.С. МОСКВИТИНА, В.П. ЯКУБОВ***ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ХОДОВ ПОДЗЕМНЫХ ЖИВОТНЫХ МЕТОДАМИ ГЕОЛОКАЦИИ<sup>1</sup>**

Цель работы – изучить устройства систем ходов и кладовых подземных животных, а тем самым проследить их жизнь, не вторгаясь в естественную среду обитания. Для этого использовался георадар «ОКО-2» и разработанная методика обработки геолокационных данных.

**Ключевые слова:** георадар, радиолокация, подземные животные.

Цокор – род грызунов семейства слепышовых, которые живут под землёй, роют тоннели с помощью массивных когтей передних лап. Они являются средними по размерам грызунами: длина тела у них составляет 16–27 см, длина хвоста доходит до 7 см. Почти всё своё время они проводят под землёй, где роют сложные многоярусные тоннели длиной 50–100 м [1]. Так или иначе, они являются активным объектом биоты почвогрунтов – одной из составляющей биологического разнообразия животных земли. Активное наблюдение за цокорами – это отлов или вскрытие нор. Но при отлове грызунов травмируют, а при раскопке нор нарушается сложившееся равновесие в природе. Более перспективным представляется другой способ, когда под землю можно заглянуть с помощью приборов, не причиняя вред окружающей среде.

Действуя в этом направлении, ученые Томского госуниверситета в июне 2014 г. проводили георадарные исследования в Кожевниковском районе, близ деревни Новопокровка, на полях сельскохозяйственного назначения. На поле было обследовано два участка с явно выраженными следами жизнедеятельности цокора – присутствовали явные следы выходы цокора на поверхность. Размеры участков составили: 4×4 и 7.5×4 м. Для зондирования почвы и обеспечения надлежащего разрешения была выбрана радарная подсистема «ОКО-2» с биполярными зондирующими радиопульсами, имеющими среднюю частоту в спектре излучения 1700 МГц. Расчетная глубина зондирования при этом имеет порядок одного метра, а разрешающая способность по глубине – около 3 см [2]. Данное разрешение должно позволить увидеть ходы цокора, а может быть, и самих животных. На рис. 1 показаны рабочие моменты по организации и проведению георадарных измерений.

Для получения подповерхностного изображения необходима точная привязка координат местоположения георадара на поверхности. Относительное положение вдоль прямой зондирования осуществляется штатными средствами локатора – имеется контрольное колесо, совмещенное с датчиком перемещения, позволяющее переводить обороты в пройденный путь. Перемещение в поперечном направлении приходится контролировать самостоятельно, поэтому перед зондированием каждая площадка размечалась.

Исходя из диаграммы направленности антенны и длительности импульса георадара, был выбран шаг сканирования в продольном и поперечном направлениях. Так, зондирование проходило с шагом 0.022 м вдоль направления перемещения геолокатора и 0.2 м – в поперечном направлении. Разметка проводилась капроновой нитью: вначале строился прямоугольник заданных размеров, затем с выбранным шагом натягивалась нить



Рис. 1. Георадарные измерения среды обитания цокора

<sup>1</sup> Работа выполнена по гранту РФФИ (№ 13-02-98032-р\_сибирь\_а) и по программе Научного фонда им. Д.И. Менделеева Томского государственного университета» (проект № 8.2.48.2015).

на реперные точки в продольном направлении (рис. 1). При таком подходе существуют еще несколько неопределенностей, одна из них связана с поиском нулевого отсчета по глубине, так как геолокатор не плотно прижимался к земле, а вторая – необходимость выравнивания данных вдоль направления движения радара на поперечных трассах. В этом случае для минимизации ошибок определения координат была использована растянутая металлическая рулетка вначале трассы перпендикулярно движению локатора (рис. 1). Так как она прилегалась к земле, то в дальнейшем при обработке служила нулевым уровнем и по вертикали относительно земли, а также началом отсчета геолокационных трасс в продольном направлении.

Всего, на каждой площадке, было проведено по 21-й параллельной трассе в продольном направлении. На каждой трассе замеры рассеянного поля производились в 350-ти точках. Для повышения отношения сигнал/шум измерения в каждой точке зондирования проходили 9 раз, что соответствует увеличению отношения сигнал/шум в 3 раза. На рис. 2 приведены первичные данные геолокатора «ОКО-2». Видно, что на нулевой глубине след от рулетки (помечен овалом) имеет разрывы в направлении движения радара. Этот сдвиг связан с разной начальной позицией геолокатора на поперечных трассах. Дальнейшая адекватная интерпретация данных возможна только после проведения процедуры выравнивания трасс относительно рулетки. Для этого выделялась область вокруг рулетки, затем находили коэффициенты корреляции трасс относительно друг друга, которые переводились в отсчеты для сдвига трасс. Результат такой обработки представлен на рис. 3, где след от рулетки действительно располагается перпендикулярно трассам и не имеет существенных разрывов.

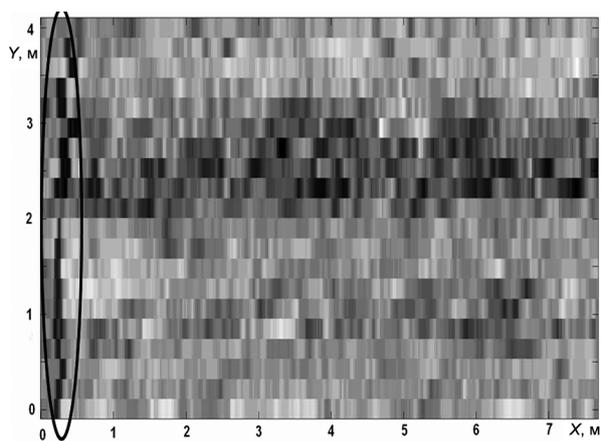


Рис. 2. Исходный геолокационный профиль исследуемой площадки (положение рулетки помечено овалом)

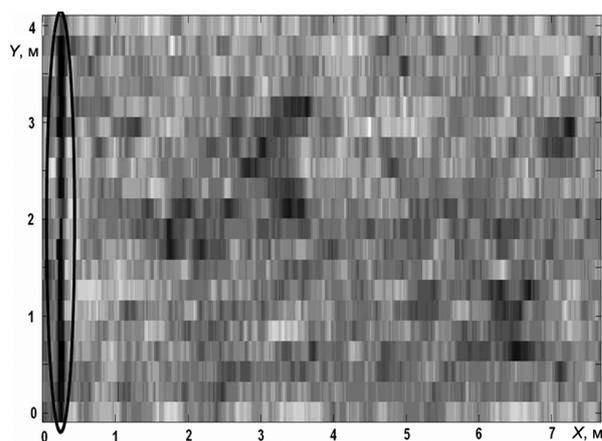


Рис. 3. Геолокационный профиль исследуемой площадки после выравнивания данных (положение рулетки помечено овалом)

Дальнейшая обработка состоит в фокусировке изображения, полученного с помощью метода синтеза большой апертуры. Но перед ее применением следует учесть экспоненциальное ослабление излучения с глубиной при проникновении в почву. Зондируемый почвогрунт содержит определенное количество влаги, которая вызывает это ослабление радиосигналов с глубиной проникновения излучения в среду. Это можно сделать лишь в среднем для исследуемой среды. В предположении экспоненциального затухания сигналов усредненная зависимость должна аппроксимироваться наклонной прямой с использованием полулогарифмического масштаба. Таким образом, коррекция этого ослабления путем перенормировки всех измеренных сигналов на усредненное экспоненциальное убывание позволяет выровнять между собой вклад всех слоев.

Последний шаг в обработке данных геолокации состоит в послойной фокусировке изображений, полученных с использованием метода синтеза апертуры [3]. Результаты георадарных измерений показаны на рис. 4 и 5 для участков  $7.5 \times 4$  и  $4 \times 4$  м соответственно.

Горизонтальный ход, по которому перемещается цокор, под землёй наглядно представлен последовательностью прямоугольников. Местоположение нор, наблюдаемых на поверхности, отмечено кружочками.

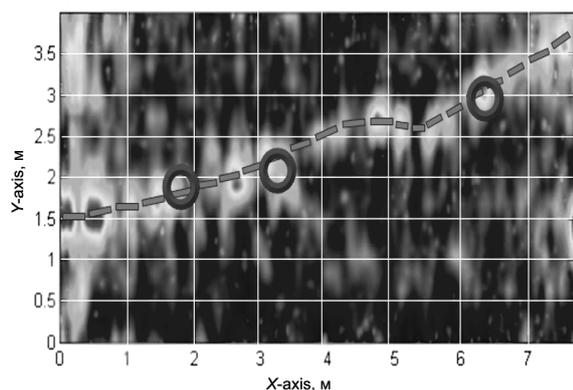


Рис. 4. Георадарный разрез горизонтального хода цокора на глубине 0.3 м, участок 7.5×4 м

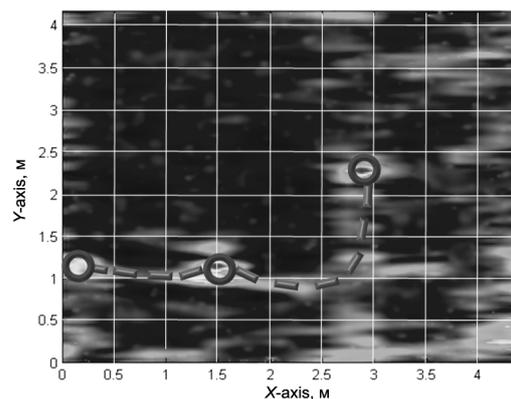


Рис. 5. Георадарный разрез хода цокора на глубине 0.3 м участок 4×4 м

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лаптев И. П. Млекопитающие таёжной зоны Западной Сибири. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1958. – 294 с.
2. Инструкция по эксплуатации радиотехнического прибора подповерхностного зондирования (георадар) «ОКО-2». – М.: ООО «Логические системы», 2011. – 98 с.
3. Якубов В. П., Шипилов С. Э., Суханов Д. Я., Клоков А. В. Радиоволновая томография: достижения и перспективы. – Томск: Изд-во НТЛ, 2014. – 264 с.

Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
г. Томск, Россия  
E-mail: zas\_rff@sibmail.com

Поступила в редакцию 27.08.15.

Клоков Андрей Владимирович, к.ф.-м.н., доцент;  
Мирончев Александр Сергеевич, аспирант;  
Запасной Андрей Сергеевич, к.ф.-м.н., доцент;  
Москвитина Нина Сергеевна, д. биол. наук, профессор;  
Якубов Владимир Петрович, д.ф.-м.н., профессор.

*A.V. KLOKOV, A.S. MIRONCHEV, A.S. ZAPASNOY, N.S. MOSKVITINA, V.P. YAKUBOV*

#### RESEARCH OF A STRUCTURE OF UNDERGROUND ANIMALS TUNNELS USING THE NONINVASIVE METHOD

The goal of this work is to study an arrangement of the tunnels and chambers of underground animals without intruding into their natural habitat. The ground penetrating radar "OKO-2" and the special technique of geolocation data processing were used.

**Keywords:** GPR, radiolocation, underground animals.

#### REFERENCES

1. Laptev I.P. *Mlekovpitayushchie taezhnoi zony Zapadnoi Sibiri*. Tomsk, Izdatel'stvo Tomskogo universiteta, 1958, 294 p. (In Russ.)
2. *Instruktsiya po ekspluatatsii radiotekhnicheskogo pribora podpoverkhnostnogo zondirovaniya (georadar) «OKO-2»*. Moscow, ООО «Logicheskie sistemy», 2011, 98 p. (In Russ.)
3. Yakubov V.P., Shipilov S.E., Sukhanov D.Ya., Klokov A.V. *Radiovolnovaya tomografiya: dostizheniya i perspektivy*, Tomsk, NTL Publ., 2014, 280 p. (In Russ.)

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia  
E-mail: zas\_rff@sibmail.com

Klokov Andrey Vladimirovich, Ass. Prof., Ph.D.;  
Mironchev Aleksandr Sergeevich, Doctor course student;  
Zapasnoy Andrey Sergeevich, Ass. Prof., Ph.D.;  
Moskvitina Nina Sergeevna, Prof., Dr.Sc.;  
Yakubov Vladimir Petrovich, Prof., Dr.Sc.