

А.Н. Романов, И.А. Суторихин

## Дистанционный мониторинг экологического состояния переувлажненных почв

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул

Поступила в редакцию 7.08.2006 г.

Выявлена устойчивая взаимосвязь между интенсивностью радиоизлучения почвенного покрова в диапазоне СВЧ и уровнем грунтовых вод, прослеживаемая до глубины 2,5 м. Установлены расчетные соотношения для определения глубины залегания грунтовых вод по радиоизлучательным характеристикам почвенного покрова. По данным аэрокосмической съемки в оптическом и СВЧ-диапазонах осуществлено дистанционное картирование уровней грунтовых вод вблизи отстойников горно-обогатительного производства.

Измерение интенсивности радиоизлучения почвенного покрова позволяет получить информацию о влажности почвы и уровнях грунтовых вод (УГВ). Наличие в почве слоев с разным увлажнением, возникающих за счет капиллярного поднятия над УГВ, способствует уменьшению интенсивности радиоизлучения, характеризуемого коэффициентом излучения  $\chi$ . Возникающий радиояркостный контраст тем значительнее, чем ближе к поверхности находится увлажненный горизонт и чем больше длина волны регистрируемого излучения.

Физической основой дистанционного определения УГВ является влияние режимов поверхностного увлажнения скин-слоя  $L$ , вносящего основной вклад в излучение, на радиационно-влажностную зависимость почвенного покрова в зонах фильтрации и подтопления [1]. Выявлена устойчивая взаимосвязь между коэффициентом излучения и УГВ, характеризуемая общими закономерностями для различных почвенно-климатических зон и прослеживаемая до глубины 1–3 м.

Для оценки УГВ получена формула [2]:

$$H_{\text{УГВ}} = L_0 + h_k \frac{W_{\text{max}}^2 - W_{\lambda}^2}{W_{\text{max}}^2 - W_{\text{min}}^2}, \quad (1)$$

где  $W_{\lambda}$  — объемное содержание воды в скин-слое почвы толщиной  $L_0$ , определенное по данным радиоизмерений;  $h_k$  — высота капиллярного подъема над УГВ;  $W_{\text{min}}$ ,  $W_{\text{max}}$  — наименьшая (НВ) и полная (ПВ) влагоемкости почвы.

Наличие зависимостей  $\chi(W)$  на длинах волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  в сантиметровом и дециметровом диапазонах позволяет построить зависимость коэффициента излучения от УГВ с использованием выражения (1), устанавливающего связь между глубиной залегания грунтовых вод и влажностями почвы в слоях  $L(\lambda_1)$  и  $L(\lambda_2)$ . Значения  $W$ , входящие в эту формулу, могут быть определены по данным дистанционных измерений  $\chi(\lambda_1)$  и  $\chi(\lambda_2)$ . При этом полагаем, что  $W(\lambda_1) \sim W_{\text{min}}$ .

На рис. 1 приведена зависимость  $\chi(H_{\text{УГВ}})$ , рассчитанная по данной формуле для среднесуглинистых почв Алтайского края с высотой капиллярного поднятия 2,5 м и полной влагоемкостью ПВ, равной 0,45. Зависимость является локальной, но, изменяя параметры, входящие в (1), можно построить подобные зависимости для других почв.

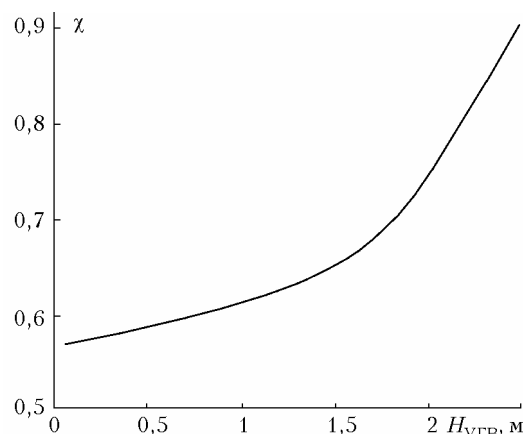


Рис. 1. Зависимость коэффициента излучения почвенного покрова от глубины залегания грунтовых вод

Величины ПВ, НВ,  $h_k$  являются константами для почвы данного типа и гранулометрического состава. Величина  $h_k$ , оказывающая влияние на режимы увлажнения, зависит от размеров пустот и структуры порового пространства и изменяется от нескольких сантиметров (для песков) до нескольких метров (для глин).

В полевых условиях  $h_k$  определяется по распределению влажности почвы от поверхности до УГВ, а в лабораторных условиях — методом монолитов и с помощью капилляриметров. Если  $h_k$  выходит на поверхность почвы, то в этом случае  $W_{\text{min}}$  оказывается отличной от НВ и может быть определена по данным дистанционных измерений коэффициента излучения  $\chi$ .

Дистанционное картирование УГВ проводили вблизи промышленных отстойников Алтайского горно-обогатительного комбината (АГОК). Влияние отстойника реализуется, в значительной степени, через фильтрационные процессы, приводящие к утечке в почву воды, содержащей вредные примеси. Гидрологическая обстановка характеризуется заболачиванием окрестных земель, аномально высоким УГВ.

В результате аэрокосмического картирования УГВ на территории, прилегающей к промышленным отстойникам, на расстоянии до 4–6 км установили, что фильтрационные процессы наблюдаются по всему периметру находящегося в эксплуатации отстойника.

Использование данных аэрокосмической съемки в оптическом и СВЧ-диапазонах позволило получить информацию о распределении областей с переувлажненным поверхностным слоем почвы и областей с близким залеганием грунтовых вод, а также получить численные значения влажности почвы и УГВ на больших площадях.

На рис. 2 приведена карта-схема распределения УГВ вблизи отстойников, построенная путем совмещения спутникового изображения и данных самолетной микроволновой съемки с картой-основой, а также показаны участки с  $H_{УГВ} < 1$  м, контурные по данным СВЧ-съемки.

Оценку поперечных размеров зоны фильтрации осуществляли путем облета территории на самолете по запланированным галсам длиной 4–6 км перпендикулярно отстойнику. Расстояние между галсами выбирали с таким расчетом, чтобы вся территория зоны фильтрации была покрыта галсами.

Вместе с тем оказалось, что по одним трассовым измерениям затруднительно воссоздать двумерную картину. Для решения задачи возможно совместное использование СВЧ-съемки и сканерной спектрофотометрии.

В соответствии с предложенным методом картирования орбитальные снимки, сделанные сканером МСУ с космического аппарата «Космос-1939», использовали для предварительной оценки гидрологической обстановки. Самолетную СВЧ-съемку применяли для определения влажности почвы и УГВ. Синхронно проводили наземные измерения  $W$  и УГВ в реперных точках. Значения УГВ, полученные по данным трассовой СВЧ-съемки, интерполировали на всю площадь методом сеток, затем совмещали с картоосновой и космическим сканерным изображением. В результате тематической обработки данных дистанционной СВЧ-съемки на

компьютере были получены карты-схемы участков с близким залеганием УГВ.

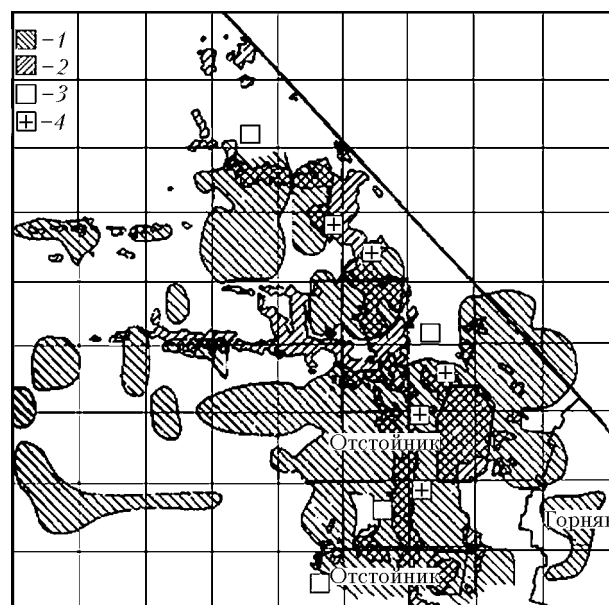


Рис. 2. Карта-схема распределения глубины залегания грунтовых вод вблизи промышленных отстойников: 1 – участки с УГВ < 1 м (по данным самолетной микроволновой съемки); 2 – области повышенной влажности поверхностного слоя почвы (по данным орбитальной сканерной съемки); 3 – скважины с УГВ > 1 м; 4 – скважины с УГВ < 1 м

Сопоставление результатов аэрокосмического зондирования и наземных измерений УГВ с данными геохимического обследования прилегающих к отстойнику почв, осуществленного Ассоциацией «Геоэкология», показало, что области повышенной концентрации в почве многих тяжелых элементов соотносятся с территориями, на которых глубина залегания грунтовых вод составляет менее 1 м. Это является доказательством того, что часть химических элементов из отстойника может разноситься грунтовым потоком и аккумулироваться в местах выклинивания грунтовых вод в поверхностный слой почвы.

1. Шутко А.М. СВЧ-радиометрия водной поверхности и почвогрунтов. М.: Наука, 1986. 189 с.
2. Романов А.Н. Некоторые методы интерпретации данных дистанционного зондирования почвенного покрова в СВЧ-диапазоне: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. Барнаул: Алтайский гос. ун-т, 1994. 124 с.

*A.N. Romanov, I.A. Sutorikhin. Remote monitoring of supersaturated soil ecologic state.*

A stable interconnection between soil cover radio-frequency radiation and the underground water level followed up to 2.5 m is revealed. Calculation relations for determination of the ground water level from soil radio-frequency radiation characteristics are found. Based on space survey data of optical and radio ranges, remote mapping of ground water levels in the vicinity of the concentrating mill settlers has been carried out.