

УДК 621.396.96:551.25+629.78

ГЕОФИЗИКА

А.П. ПИЧУГИН, А.С. ГАВРИЛЕНКО, А.Г. ГРИБУНИН, Л.В. ЕЛЕНСКИЙ,
А.И. КАЛМЫКОВ, академик АН УССР В.П. МЕСТОПАЛОВ

РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ИЗ КОСМОСА РАЗЛИВОВ РЕК

Изучение режима затопления пойм во время разливов рек и прогноз его изменения при регулировании стока является важнейшей областью гидрологических исследований. Разливы рек в той или иной мере оказывают влияние на сельское хозяйство, животноводство, нагул и нерест рыбы, а также на такие отрасли народного хозяйства, как энергетика и судоходство [1].

Основным источником информации для расчета и прогноза стока вод служат данные точечных наблюдений, получаемые на гидрометеостанциях. Эти данные страдают отсутствием полноты сведений, в связи с чем прогноз, выполненный на их основании, не всегда достоверен. В последнее время для наблюдения больших территорий, подверженных наводнению, используются оптические системы, установленные на космических носителях [2]. Однако эти системы имеют ограничения при наличии облачности и в темное время суток.

Для контроля и диагностики разливов рек представляется перспективным привлечение радиолокационных средств дистанционного зондирования природной среды из космоса. Хорошо зарекомендовала себя радиолокационная система бокового обзора (РЛС БО), установленная на ИСЗ "Космос-1500" [3], при исследованиях ледовых покровов [3–5] и поверхности океана [3, 6]. Представляет интерес оценка возможностей РЛС БО ИСЗ "Космос-1500" для исследования характеристик суши, в частности, для наблюдения таких стихийных явлений, как разливы рек.

Действительно, оказалось, что на радиоизображениях, полученных РЛС БО ИСЗ "Космос-1500", разливы регистрируются достаточно уверенно. На рис. 1 представлено такое радиоизображение, полученное 20 августа 1984 г. в период разлива реки Амур. Участки поверхности, покрытые водой, выглядят более темными по сравнению с соседней сухой поверхностью, т.е. интенсивность рассеяния на покрытых водой площадях ниже. Это связано с тем, что удельная эффективная площадь рассеяния (УЭПР) σ^0 , определяющая интенсивность отраженного сигнала, для суши, как правило, выше, чем УЭПР водной поверхности при углах падения $\theta \gtrsim 15^\circ$. В один элемент разрешения РЛС БО могут попадать возвышенные участки поверхности, не залитые водой, и затопленные низменности. Поэтому интенсивность сигнала, рассеянного на частично затопленных участках земной поверхности, принимает промежуточное значение между минимальным, соответствующим водной поверхности реки, и максимальным, характеризующим отражения от суши.

На радиоизображении рис. 1 условно можно выделить три зоны яркости. Наиболее темные участки соответствуют максимальному затоплению в пойме Амура, более светлые — частичному затоплению Нижне-Амурской низменности и яркие участки изображения — сухая земная поверхность, не подверженная затоплению.

Одной из задач контроля разливов рек является определение площади затопленной территории земной поверхности. Для автоматического подсчета этих площадей в районе разлива Амура выделим участки с различной степенью затопления.



Рис. 1

С этой целью в интерактивном режиме ЭВМ зададим величину пороговой яркости и всем сигналам, превышающим ее, присвоим значение, равное 255 (при обработке в байтовом формате), а остальным сигналам — 0. Следует отметить, что выбор пороговой яркости должен проводиться в зависимости от конкретных ситуаций наблюдения, поскольку различные территории земной поверхности, на которых могут произойти разливы, характеризуются индивидуальными рассеивающими свойствами. Поэтому характеристики радиосигналов, рассеянных на поверхности, свободной от затопления, могут варьироваться в зависимости от географического положения исследуемой области, климатических условий в период наблюдения и др. В общем случае правильный выбор величины пороговой яркости определяет точность оценки затопленных площадей.

На рис. 2 представлен результат такой обработки фрагмента, выделенного на рис. 1. Темные участки на рис. 2а — пойма Амура (наиболее затопленная область разлива) и прилегающие к реке озера. Определение площади затопленных участков проводилось в окнах шириной 16,7 км и высотой в размер фрагмента по вертикали (около 540 км). Результат этих расчетов представлен на рис. 2б в виде распределения площади S_{e1} затопленной поймы Амур (ломаная кривая) по дистанции L в том же масштабе, что и рис. 2а.

При вычислении S_{e2} из общей площади с нулевым значением сигнала на

рис. 2а вычтены площади русла Амура и озер, попавшие в анализирующее окно.

Менее подвержена воздействию разлива прилегающая к пойме Амура низменность. На рис. 3а выделена вся область затопления для того же фрагмента радиозображения рис. 1. Распределение затопленной площади S_{e2} (S_{e2} определялась как разность площадей с нулевым значением сигнала на рис. 3а и рис. 2а в анализирующем окне тех же размеров) по дистанции L для этого случая показано на рис. 3б ломаной кривой. Анализ распределений площадей S_{e1} и S_{e2} в продолжение некоторого времени может оказаться полезным при прогнозировании развития паводков.

Важное значение при изучении, прогнозировании и регулировании стока вод в период разливов рек имеет своевременное определение процента площади, полностью покрытой водой в районе разлива [7]. В работах [7, 8] показана возможность оценки относительной площади, занятой водой, по оптическим изображениям, полученным из космоса.

Ниже приведена методика определения относительной площади суши, покрытой водой в районе разлива, по радиолокационным изображениям. Для этого удобно воспользоваться относительными измерениями характеристик обратного рассеяния,

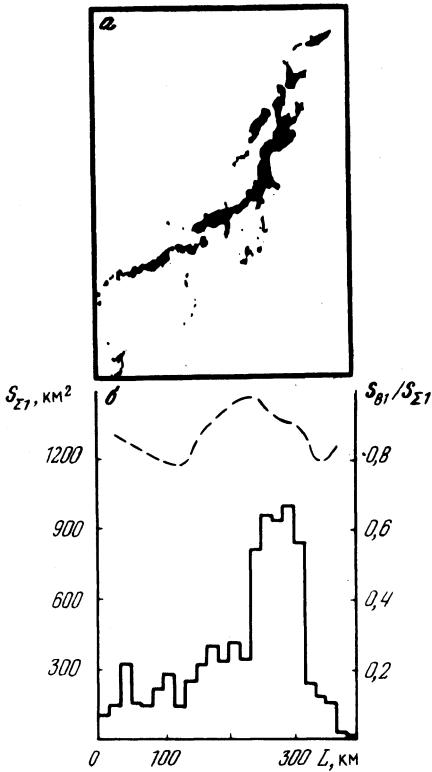


Рис. 2

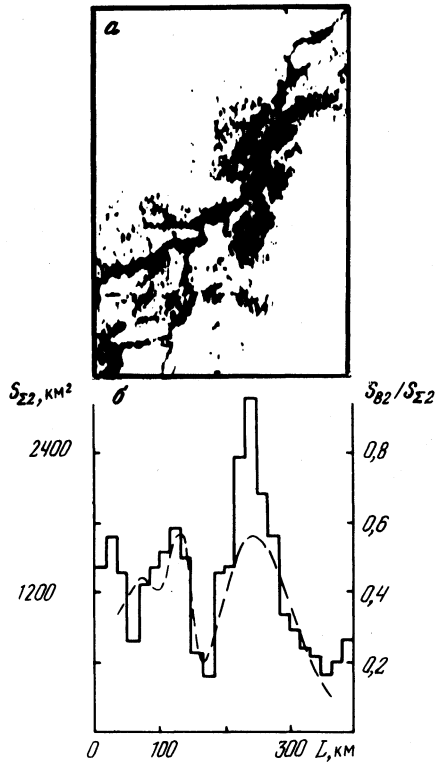


Рис. 3

не прибегая к вычислению абсолютных значений УЭПР. Определим контраст радиолокационных отражений от водной поверхности на фоне суши: $K_{\text{вс}}^2 = \sigma_{\text{в}}^0 / \sigma_{\text{с}}^0 = U_{\text{в}}^2 / U_{\text{с}}^2$, где $\sigma_{\text{в}}^0$, $\sigma_{\text{с}}^0$ — УЭПР водной поверхности и суши соответственно; $U_{\text{в}}$, $U_{\text{с}}$ — аналогичные значения выходных напряжений радиолокационных сигналов, которые применительно к РЛС БО ИСЗ "Космос-1500" могут быть определены по методике, предложенной в [5]. Аналогично запишем выражение для контраста сигналов, рассеянных на участке частично затопленной поверхности в районе разлива, на фоне отражений от суши: $K_{\text{рс}}^2 = \sigma_{\text{р}}^0 / \sigma_{\text{с}}^0 = U_{\text{р}}^2 / U_{\text{с}}^2$, где $\sigma_{\text{р}}^0$, $U_{\text{р}}$ — УЭПР и выходное напряжение, соответствующие области разлива. Величину $\sigma_{\text{р}}^0$ определим, следуя [9]: $\sigma_{\text{р}}^0 = [\sigma_{\text{в}}^0 S_{\text{в}} + \sigma_{\text{с}}^0 \times (S_{\text{е}} - S_{\text{в}})] / S_{\text{е}}$, где $S_{\text{е}}$ — площадь анализируемого участка; $S_{\text{в}}$ — площадь водной поверхности в анализируемом участке. Приведенные соотношения позволяют получить искомое выражение для определения относительной площади поверхности, покрытой водой, для любого элемента разрешения:

$$(1) \quad \frac{S_{\text{в}}}{S_{\text{е}}} = \frac{U_{\text{с}}^2 - U_{\text{р}}^2}{U_{\text{с}}^2 - U_{\text{в}}^2}.$$

При расчетах по (1) следует учитывать, что величины $U_{\text{с}}$, $U_{\text{р}}$, $U_{\text{в}}$ являются функциями угла облучения поверхности. Поэтому при определении $S_{\text{в}}/S_{\text{е}}$ они должны измеряться на одной и той же дальности.

Результаты расчетов по (1) показаны на рис. 2б и рис. 3б штриховыми кривыми в виде распределений по дистанции L относительных площадей $S_{\text{в}1}/S_{\text{е}1}$ и $S_{\text{в}2}/S_{\text{е}2}$, соответствующих пойме Амура и Нижне-Амурской низменности. Как видно из распределения $S_{\text{в}1}/S_{\text{е}1}$, процент полного затопления в пойме Амура очень высок:

под водой в этом районе оказалось от 80 до 99% площадей. Гораздо ниже процент затопления водой Нижне-Амурской низменности, где водой покрыто менее 60% суши.

Необходимо отметить возможный источник ошибок при вычислении S_B/S_E по (1). Если затопленный участок суши покрыт растительностью, выступающей над водной поверхностью, значения U_p на исследуемом участке могут быть завышены, что приведет к уменьшению определяемой величины S_B/S_E .

Таким образом, радиолокационные изображения земной поверхности из космоса позволяют регистрировать разливы рек и контролировать основные параметры затопленных участков. Предложенные методики обработки радиолокационной информации обеспечивают подсчет площадей участков с различной степенью затопления, а также вычисление процента площадей, находящихся под водой. Эти методики, если учесть независимость радиолокационного метода исследования земной поверхности от погодных условий, могут оказаться полезными при контроле разливов рек и оперативном принятии решений на практике.

В заключение авторы благодарят Б.Д. Замараева, В.Б. Разказовского, Г.П. Кулемина за полезные обсуждения.

Институт радиофизики и электроники
Академии наук УССР, Харьков

Поступило
24 V 1985

ЛИТЕРАТУРА

1. *Важнов А.Н.* Гидрология рек. М.: Изд-во МГУ, 1976. 339 с.
2. *Селиванов А.С., Чемоданов А.П.* — Техника кино и телевидения, 1978, № 6, с. 17–21.
3. *Калмыков А.И. и др.* — Исслед. Земли из космоса, 1984, № 5, с. 84–93.
4. *Шестопалов В.П. и др.* — ДАН, 1984, т. 279, № 3, с. 621–623.
5. *Пичугин А.П. и др.* — Исслед. Земли из космоса, 1984, № 6, с. 82–90.
6. *Калмыков А.И. и др.* — ДАН, 1984, т. 279, № 4, с. 860–862.
7. *Временные методические рекомендации по использованию спутниковой информации. Оценка затоплений речных пойм.* Л.: Гидрометеоздат, 1982, 48 с.
8. *Природа Земли из космоса /Под ред. Н.П. Козлова.* Л.: Гидрометеоздат, 1984. 151 с.
9. *Калмыков А.И. и др.* — Исслед. Земли из космоса, 1983, № 6, с. 91–96.

УДК 550.3+550.4

Г Е О Ф И З И К А

Член-корреспондент АН СССР Н.И. ХИТАРОВ,
Н.Ш. БАГДАСАРОВ, А.М. ДОРФМАН, Е.Б. ЛЕБЕДЕВ

УТОЧНЕНИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ОБ АСТЕНОСФЕРЕ ПО ФИЗИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ РАСПЛАВА БАЗАЛЬТА

Несмотря на значительный объем экспериментальных данных по физическим свойствам земного вещества при высоких термодинамических параметрах остается нерешенным вопрос о природе, строении и физических свойствах вещества в зонах низких скоростей (ЗНС) верхней мантии Земли. Это природное явление наиболее вероятно можно объяснить наличием частично расплавленного слоя на некоторой глубине. В пользу этой точки зрения говорит и генетическая связь между районами активного вулканизма и зонами аномального поведения скоростей сейсмических волн, электропроводности, теплового потока и т.д. Идея о частичном плавлении предпочтительна потому, что в рамках единой модели строения земной коры и верх-